

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE EDUCACIÓN
Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales



TESIS DOCTORAL

Propuesta formativa de didáctica de la química. Las actividades indagativas para la Educación Secundaria como problema profesional

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Iñigo Rodríguez Arteche

Directora

María Mercedes Martínez Aznar

Madrid, 2018

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE EDUCACIÓN

CENTRO DE FORMACIÓN DEL PROFESORADO

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales



TESIS DOCTORAL

Propuesta formativa de Didáctica de la Química. Las actividades indagativas para la Educación Secundaria como problema profesional

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

Presentada por

Iñigo Rodríguez Arteche

Directora

María Mercedes Martínez Aznar

Madrid, 2017

***“Nuestras horas son minutos
cuando esperamos saber,
y siglos cuando sabemos
lo que se puede aprender”***

ANTONIO MACHADO

Poeta español

***“Me lo contaron y lo olvidé;
lo vi y lo entendí;
lo hice y lo aprendí”***

CONFUCIO

Filósofo chino

*Al aita, a la ama, a Javi
A mi familia y amigos
por todo vuestro cariño y por haberme mostrado
que con esmero, es posible alcanzar los sueños*

AGRADECIMIENTOS

Por medio de estas líneas querría dar las gracias a las personas que, de un modo u otro, han contribuido a este trabajo y, de forma más amplia, a mi ilusión hacia las ciencias, la docencia, la investigación y el mundo educativo en general.

En primer lugar a Mercedes, mi directora y amiga, por toda su generosidad a lo largo de estos años, que me ha permitido aprender muchísimo sobre esta área apasionante que es la Didáctica de las Ciencias. Valoro muchísimo su implicación, sinceridad, el tiempo invertido, los consejos aportados... sin los cuales es muy difícil que este trabajo hubiera llegado a buen puerto. Conocer a Mercedes en el Máster de Secundaria fue una suerte enorme y quiero poner en valor el hecho de que, durante todo este tiempo, me haya hecho participe de su docencia, talleres desarrollados, trabajos de investigación, etc., yendo mucho más allá de las “obligaciones” de una directora de tesis. Además, puedo decir que a lo largo de estos años, siempre que he necesitado ayuda ella ha estado totalmente disponible, y esto tiene un valor incalculable.

A los profesores del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, que han conseguido que todos estos años me haya sentido como en casa. A Paloma Varela, Ángel Ezquerro, Paco Sotres y Patricio Gómez, por haberse preocupado por mí en todo momento, aconsejándome, permitiéndome participar en sus clases, ayudándome en todo lo que han podido y, sobre todo, haciéndome pasar muy buenos ratos en su compañía. A Manuela Caballero y Maximiliano Rodrigo, directores del Departamento en los últimos años, por el cariño con que siempre me han tratado y por todos sus ánimos hacia mi trabajo. A Juan Peña, M^a Ángeles Arillo, Patricia Martín y Rosa Martín, por su disposición a la ayuda y su amabilidad a lo largo del tiempo que ha durado este doctorado. Igualmente, hago extensible el agradecimiento a todos los compañeros de la Facultad que se han interesado por mis progresos, y se han mostrado dispuestos a prestarme una mano cuando lo he necesitado.

A mi amiga y compañera de doctorado Belén, por haberme acompañado en la aventura que supone cursar estos estudios, con momentos emocionantes y otros más duros. Sobre todo, quiero agradecer su apoyo en este tramo final, de gran nerviosismo por la necesidad de “cerrar” temas abiertos y cubrir los trámites para presentar el trabajo. Conocerla ha sido uno de los regalos de esta tesis. A Esther, amiga ya desde el Máster de Secundaria y excelente compañera durante todo este tiempo, que no ha cesado de prestarme ayuda y ánimos siempre que lo he necesitado. Quisiera desearle suerte para el “viaje” que está a punto de comenzar. Del mismo modo, quiero reconocer a mis compañeros ya doctores David y Ana, con los que suelo compartir ratos muy agradables.

A la profesora Belén García, porque el Practicum del Máster supuso un punto de inflexión en mi formación y visión sobre la enseñanza, gracias a su asesoramiento, su colaboración estrecha con Mercedes y la ayuda que ambas me prestaron. A Arantxa, compañera en las prácticas y amiga íntima durante todo este tiempo. Aunque en estos momentos ella no esté en Madrid, quisiera reconocer que gran parte del mérito de que

considere esta ciudad como “mi segunda casa” es suyo. Igualmente, a mis compañeros de Máster, con quienes he podido compartir momentos inolvidables en estos últimos años, en Madrid y en otros lugares; gracias a Pilar, Raúl, Ana, Carla y tantos otros.

A Ana, Carlos, Daniel, Gabriel, Javier, Jorge, Laura G., Laura Z., Miguel, Noelia y Virginia, por acceder a participar en entrevistas que forman parte de esta tesis. Igualmente, y aunque gran parte de este trabajo quede pendiente para el futuro, a Alberto, Alonso, Julia, Marta, Moisés y Sergio. Es difícil expresar con palabras toda su ayuda en relación a la investigación del grupo, y quiero destacar los buenos momentos vividos en su desarrollo (durante la proyección de los vídeos, en las clases del Practicum... ¡gracias!).

A Dani J., no solo por haberme ayudado enormemente con muchas de las figuras incluidas en esta memoria, sino por su apoyo incondicional y su ejemplo de trabajo y optimismo. A Enrique Navarro, por haberse mostrado siempre tan accesible para responder dudas y aconsejarme sobre temas estadísticos; valoro mucho el tiempo dedicado. A Nick, por su revisión minuciosa del inglés en uno de los artículos que componen el compendio, y por la convivencia en Agustín Querol –y en el Ribs–. A Peter y Chano, porque aunque es duro tener un compañero casi siempre “atareado”, han sabido estar a la altura, ayudar en lo posible y aprovechar los momentos juntos de una forma increíble.

A mis compañeros “profes” con los que he tenido la suerte de compartir vocación y aprender durante mis años de trabajo en Educación Secundaria, en Valladolid y en Alcalá de Henares. Me considero afortunado por haber hecho tan buenas amistades, y seguir organizando planes de tapeo, cine, teatro e incluso montaña. A mis alumnos, por ser el verdadero motor de todo este trabajo y haber conseguido que me ilusionara aún más por este trabajo. ¡Son tantas las emociones vividas! A Manu, por todo lo que he aprendido enseñándole. A mis antiguos “profes”, por ser un ejemplo del tipo de profesional que me gustaría llegar a ser en un futuro. A Pilar Tejero, por su ilusión desbordante hacia la enseñanza de la física y las matemáticas y su categoría humana.

A mis compañeros de eTwinning, con los que he convivido y aprendido en este último año. A Lourdes Gozalo, por haberse preocupado por mí en todo momento y haberme enseñado infinidad de estrategias y herramientas muy útiles en la enseñanza. A la «familia» que surgió en el INTEF, por todo lo que hemos vivido y reído juntos, y lo que nos queda por hacer.

A los amigos excepcionales que pude hacer durante mis estudios de física en Santiago de Compostela. Las experiencias vividas, el espíritu de compañerismo y el aprendizaje mutuo van a ser muy difíciles de olvidar. Además, es increíble que, a pesar de la distancia, sigamos compartiendo encuentros y visitas en sitios tan distintos como Irun, Valladolid, Madrid, Ginebra, Oporto o Berlín, sin olvidarme de las “míticas” quedadas de verano y navidad. Por eso, a Carlos, Merche, Manu, Dani G. y tantísimos otros, ¡gracias!

A mi “cuadrilla” de amigos de Irun, con la que llevo conviviendo desde bien pequeño. Lo cierto es que es precioso que uno pueda echar la vista y verse en distintas etapas de la niñez, adolescencia y juventud acompañado de gente tan dispar y a la vez tan fantástica. Hemos compartido muchísimo tiempo juntos, organizado planes de lo más diverso, pero lo mejor está por llegar...

A toda mi familia, repartida por lugares como A Coruña, Azpeitia, Estocolmo, Huelva, Irun, Muros, Ribeira, Santiago de Compostela, Santo Domingo de la Calzada, Valencia... por haber cuidado de mí todos estos años. De forma especial, querría dar las gracias a mi Aiti, a mi Amama, al Abuelo Bautista, a la Abuela Dorinda, a la Tía Carmen, a mi Padrino y a mi Tía Lola, porque sé que les habría hecho mucha ilusión compartir este momento, y ojalá hubiera podido disfrutarlo con ellos.

Finalmente, muchísimas gracias a la ama, al aita y a Javi, porque todo lo que soy se lo debo a ellos. Es difícil expresar con palabras la gratitud por todo el amor y apoyo recibido durante estos años, independientemente de las decisiones que haya tomado. Lo cierto es que a pesar de llevar muchos años fuera de casa, nunca me he sentido apartado de su lado.

Mil gracias de todo corazón

Bihotz-bihotzez, eskerrik asko

Moitas grazas de corazón

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	3
2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. Contexto para la formación inicial del profesorado de física y química de Secundaria	11
2.1.1. Educación científica, ¿para qué?	11
2.1.2. Alfabetización científica y tecnológica y Competencia científica como referentes.....	12
2.1.3. La enseñanza-aprendizaje de las ciencias en el sistema educativo español .	16
2.1.4. Marco formativo para el futuro profesorado de Educación Secundaria	20
2.2. Elementos para diseñar una propuesta formativa para las asignaturas de didáctica del Máster en Formación del Profesorado	25
2.2.1. Conocimiento profesional docente	25
2.2.2. El CDC como conocimiento distintivo del profesorado.....	28
2.2.3. El CDC como elemento estructural en la formación inicial del profesorado .	32
2.2.4. Las creencias profesionales: un componente fundamental del CDC	42
2.3. La indagación como estrategia metodológica para el futuro profesorado	53
2.3.1. La indagación en el contexto educativo actual.....	53
2.3.2. ¿A qué nos referimos al hablar de indagación en las clases de ciencias? .	56
2.3.3. Clasificación de los enfoques y actividades de naturaleza indagativa	62
2.3.4. Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI).....	66
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	75
3.1. Finalidad de la investigación.....	75
3.2. Preguntas de investigación. Objetivos	76
3.3. Roles del autor de la tesis	77
3.4. Muestras del estudio	78
3.5. Aspectos generales de la investigación	80
3.6. Instrumentos y técnicas de recogida de datos	80
3.7. Técnicas de análisis de resultados	82
4. PROPUESTA FORMATIVA PARA LAS ASIGNATURAS DE DIDÁCTICA.....	89
4.1. <i>Artículo 1</i>	91
5. LAS ACTIVIDADES INDAGATIVAS PARA SECUNDARIA COMO PROBLEMA PROFESIONAL.....	115
5.1. <i>Artículo 2</i>	117
5.2. <i>Artículo 3</i>	137
5.3. <i>Artículo 4</i>	153
6. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA FORMATIVA.....	181
6.1. <i>Artículo 5</i>	183
6.2. <i>Artículo 6</i>	209

6.3. Artículo 7.....	227
6.4. Artículo 8.....	237
7. DISCUSIÓN GLOBAL DE LOS RESULTADOS	247
7.1. Resultados globales en relación con la primera pregunta de investigación	247
7.1.1. Objetivo 1: Síntesis de las características de la propuesta formativa para las asignaturas de didáctica	247
7.1.2. Objetivo 2: Eficacia de la propuesta formativa a partir del cambio en las creencias profesionales	251
7.1.3. Objetivo 3: Pensamiento final sobre el diseño y uso de actividades escolares	269
7.2. Resultados globales en relación con la segunda pregunta de investigación ...	274
7.2.1. Objetivo 4: Aprendizaje de los futuros profesores sobre los cambios físicos y químicos a través de la resolución de problemas abiertos escolares	274
7.2.2. Objetivo 5: Percepción de los futuros profesores sobre el uso de la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación	292
7.2.3. Objetivo 6: Transferencia de la MRPI a la Educación Secundaria durante el Practicum.....	301
8. CONCLUSIONES FINALES	307
8.1. Conclusiones en relación con la primera pregunta de investigación.....	307
8.2. Conclusiones en relación con la segunda pregunta de investigación.....	312
8.3. Perspectiva de futuro.....	317
BIBLIOGRAFÍA	321
ANEXOS	353
Anexo 1: Cuestionario sobre «Pensamiento Curricular y Profesional»	353
Anexo 2: Plantilla para la resolución de problemas abiertos escolares	355
Anexo 3: Guion de la entrevista semiestructurada a los futuros profesores	356
Anexo 4: Cuestionario de «Visión sobre la Aplicabilidad de la MRPI».....	357
RESUMEN DE LA TESIS	363
SUMMARY OF THE THESIS	375

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1. Listado de artículos que forman el compendio de publicaciones, y aquellos presentados como “documentación complementaria” en el capítulo 6	6
TABLA 2.1. Listado de competencias a desarrollar en la Educación Primaria y Secundaria	17
TABLA 2.2. Puntuaciones medias de España para la competencia científica	19
TABLA 2.3. Modelos de formación del profesorado de Educación Secundaria obligatoria, a partir de EURYDICE (2013)	21
TABLA 2.4. Concreción de la ORDEN ECI/3858/2007 para la especialidad de física y química de la UCM.....	23
TABLA 2.5. CoRe (Content Representation) y PaP-eRs (Pedagogical and Professional experience Repertoires) asociados. Traducido de Loughran et al. (2004).....	39
TABLA 2.6. Modelos de Unidades Didácticas de Sánchez-Blanco & Valcárcel (1993) y Martínez-Aznar et al. (2013)	41
TABLA 2.7. Roles desempeñados por el alumno y por el profesor durante la resolución de actividades indagativas.....	59
TABLA 2.8. Creencias negativas sobre la indagación detectadas en muestras de profesores en activo y en formación	61
TABLA 2.9. Clasificación de las actividades indagativas según la apertura de los desafíos .	63
TABLA 3.1. Distribución de los objetivos generales en los ocho artículos que componen la investigación	77
TABLA 3.2. Características de los grupos-clase con los que se implementa la propuesta en dos promociones consecutivas	79
TABLA 3.3. Muestras específicas de futuros profesores consideradas para los objetivos de la tesis.....	79
TABLA 3.4. Instrumentos y técnicas de recogida de datos para abordar los objetivos	81
TABLA 3.5. Relación entre objetivos, artículos, comprobaciones a realizar, instrumentos de recogida de datos y técnicas de análisis	85
TABLA 7.1. Tamaños del efecto y valores del estadístico de Wilcoxon a partir de la valoración global de cada dimensión	253
TABLA 7.2. Estadísticos para las creencias donde la propuesta tiene un mayor impacto .	258
TABLA 7.3. Estadísticos para las creencias donde perdura una posición mayoritaria tradicional	259
TABLA 7.4. Creencias pertenecientes a los dos clusters del pretest, según la Figura 7.4..	263
TABLA 7.5. Estadísticos para las creencias que presentan mayores diferencias entre ambas promociones en los tamaños del efecto (η)	267
TABLA 7.6. Enfoques sobre el problema profesional acerca del uso y diseño de actividades escolares (con énfasis en la visión sobre la indagación).....	271
TABLA 7.7. Caracterización de los contenidos en términos competenciales, en la Unidad Didáctica «Cambio y diversidad en la naturaleza» (3º de ESO)	275
TABLA 7.8. Mapa conceptual para un análisis cualitativo (DC1.1) asignado a un nivel de logro inferior, sobre «¿Qué puede ocurrir cuando dos sustancias se ponen en contacto?»	282

TABLA 7.9. Mapa conceptual para un análisis cualitativo (DC1.1) asignado a un nivel de logro <i>superior</i> , sobre «¿Qué puede ocurrir cuando dos sustancias se ponen en contacto?».....	283
TABLA 7.10. Mapa conceptual para un análisis cualitativo (DC1.1) asignado a un nivel de logro <i>inferior</i> , sobre «¿Qué puede ocurrir cuando se calienta una sustancia?».....	284
TABLA 7.11. Mapa conceptual para un análisis cualitativo (DC1.1) asignado a un nivel de logro <i>superior</i> , sobre «¿Qué puede ocurrir cuando se calienta una sustancia?»	285
TABLA 7.12. Fragmentos del análisis cualitativo (DC1.1) de dos futuros profesores, utilizados para elaborar los mapas conceptuales	286
TABLA 7.13. Esquemas para el análisis de resultados (DC5) de dos futuros profesores sobre «¿Qué puede ocurrir cuando dos sustancias se ponen en contacto?».....	288
TABLA 7.14. Esquemas para el análisis de resultados (DC5) de dos futuros profesores sobre «¿Qué puede ocurrir cuando se calienta una sustancia?».....	289
TABLA 7.15. Análisis de resultados (DC5) de dos estudiantes, utilizados para los esquemas	290
TABLA 7.16. Categorías de reflexión que muestran una visión diferente sobre la MRPI según el modelo didáctico de los estudiantes	298

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1. Organización del documento de la tesis	7
FIGURA 2.1. Marco teórico para la evaluación de la competencia científica en PISA 2015. Adaptado de OCDE (2013)	15
FIGURA 2.2. Modelo de relación entre las creencias epistemológicas, la autoeficacia y la práctica docente. Traducido de Chen et al. (2015)	30
FIGURA 2.3. Modelo Hexagonal del CDC. Adaptado de Park & Oliver (2008) y Acevedo & García-Carmona (2016)	32
FIGURA 2.4. Modelo conceptual sobre el CDC canónico y el CDC personal. Reelaborado a partir de Park & Suh (2015) y Smith & Banilower (2015)	37
FIGURA 2.5. Hipótesis de progresión en los modelos didácticos personales. Adaptado de Martín del Pozo & Rivero (2001) y Solís (2005)	48
FIGURA 2.6. Modelo de desarrollo personal jerárquico. Adaptado de Kegan (1994) y Blanchard et al. (2009)	50
FIGURA 2.7. Características del modelo didáctico tradicional. Adaptado de Jiménez-Aleixandre (2000)	51
FIGURA 2.8. Características del modelo didáctico constructivista. Adaptado de Jiménez-Aleixandre (2000)	52
FIGURA 2.9. Clasificación de los problemas, a partir de las propuestas de A) Martínez-Aznar (1990) y B) Perales (2000)	68
FIGURA 2.10. Concepción de la MRPI como un proceso cíclico	72
FIGURA 7.1. Construcción inicial de CDC a través de la resolución de problemas profesionales vinculados a sus componentes	248
FIGURA 7.2. Modelo de Consenso del CDC en relación con las asignaturas. Traducido de Kind (2015)	250
FIGURA 7.3. Puntuaciones medias en los distintos ítems de las seis dimensiones del cuestionario	255
FIGURA 7.4. Diagrama de escalamiento de los ítems en el pretest	261
FIGURA 7.5. Diagrama de escalamiento de los ítems en el postest	264
FIGURA 7.6. Validez de criterio del instrumento a partir del escalamiento multidimensional de los ítems en el postest	266
FIGURA 7.7. Indicadores de logro 1 (A) y 2 (B) para las DC, en los problemas sobre el contacto entre dos sustancias, P1, y el calentamiento de una sustancia, P3	278
FIGURA 7.8. Percepciones sobre el uso de la MRPI en Secundaria por parte de los futuros profesores	293
FIGURA 7.9. Indicadores de logro 1 (A) y 2 (B) para las DC, en los tres problemas abiertos de la secuencia –el primero sin la MRPI–	303

Capítulo 1

Introducción

1. INTRODUCCIÓN

El contexto actual sitúa la mejora de la educación en el centro de sus prioridades. La formación de sujetos hábiles en la aplicación de sus competencias y, de este modo, ciudadanos críticos y comprometidos con el bienestar personal y social, es una meta con la que todas las administraciones, organizaciones o agentes educativos deben estar firmemente comprometidos. Obviamente, hay múltiples líneas en las que contribuir a estos fines: la legislación educativa, la financiación del sistema, su evaluación externa, el currículo, la dirección de los centros escolares, el papel de las familias, las oportunidades de desarrollo profesional del profesorado, su formación inicial, etc.

Este trabajo se centra en el último de los aspectos del listado anterior, y en concreto, en la formación inicial del profesorado de Educación Secundaria en el contexto español. En este sentido, el marco para formar a los futuros docentes se ha visto modificado en la última década, pasándose desde el Curso de Aptitud Pedagógica (CAP) a una titulación de postgrado de 60 créditos ECTS: el *Máster en Formación del Profesorado de Educación Secundaria*. Este cambio ha sido acompañado de una ilusión generalizada (a veces menguante en el tiempo) por las posibilidades abiertas: un mayor tiempo dedicado a las didácticas específicas, un Practicum más extenso y –en principio– con mejores condiciones para los tutores y mentores implicados, la promoción de una práctica reflexiva e investigativa desde el Trabajo Fin de Máster, etc. Sin embargo, la implantación del Máster no ha supuesto, ni mucho menos, el fin del debate sobre el mejor modo de preparar a los docentes. Así, es habitual escuchar otras propuestas alternativas, como la redistribución de los tiempos entre la formación teórico-práctica y el Practicum, u otras de mayor calado como la transición a un modelo formativo concurrente o un “MIR” del profesorado.

En esta investigación, referida a la formación inicial de profesores de física y química desde las asignaturas de didácticas específicas del Máster, se considera que, independientemente del marco en el que se sitúe esta preparación del profesorado, existen ciertas características que pueden favorecer un desarrollo adecuado de sus competencias docentes. Así, esta memoria presenta una propuesta para las asignaturas de Didáctica de la Química y Didáctica de la Física del Máster basada en: 1) la construcción de *Conocimiento Didáctico del Contenido* (CDC) a través de la resolución de problemas profesionales, y 2) la vivencia de *actividades escolares indagativas*, como elemento de aprendizaje y reflexión sobre sus características y beneficios para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias.

Además, para contribuir a la mejora de un programa formativo, tanto por parte de sus propios responsables como de otros agentes educativos, resulta necesario contrastar sus logros en conseguir aquello que se propone. Por ello, en este estudio se evalúa la adecuación de la propuesta en relación al cambio en las creencias profesionales de los

participantes, hacia ideas más próximas a las del constructivismo didáctico (o a un «modelo de investigación escolar»), y a su contribución al desarrollo de la competencia científica de los futuros profesores.

Por todo ello, los capítulos que siguen se estructuran de la siguiente manera:

- *Capítulo 2 - Marco Teórico.* Se describen las finalidades concebidas para la educación científica, el contexto del que se dispone para contribuir a ellas en la formación inicial del profesorado de Secundaria, el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) como elemento clave en el diseño de las propuestas formativas y la indagación, como estrategia útil para promover la mejora de los logros de aprendizaje de los escolares y su motivación hacia las ciencias.
- *Capítulo 3 – Diseño de la investigación.* Se presentan las preguntas de investigación y objetivos que guían el desarrollo del estudio de tesis doctoral. Además, se justifican las muestras de la investigación, los instrumentos de recogida de datos y las técnicas de análisis utilizadas.
- *Capítulo 4 – Propuesta formativa para las asignaturas de didáctica.* Consiste en la concreción del marco teórico en principios específicos para desarrollar las asignaturas de Didáctica de la Química y de la Física del Máster. El programa formativo se justifica en detalle, y se describen las actividades desarrolladas por los futuros profesores.
- *Capítulo 5 – Las actividades indagativas para Secundaria como problema profesional.* Se expone el proceso de aprendizaje y el desarrollo de la competencia científica de los estudiantes del Máster en la resolución de situaciones problemáticas de química escolar. Todo ello busca promover su reflexión sobre la indagación como cambio metodológico en la enseñanza y su capacitación para implementar estas estrategias en la Educación Secundaria, un último aspecto incluido en el capítulo –la transferencia del aprendizaje sobre la indagación al Practicum del Máster–.
- *Capítulo 6 – Evaluación de la propuesta formativa.* Para evaluar el programa para las asignaturas de didáctica, se contempla la evolución en las creencias profesionales de los futuros profesores, y la visión final asumida sobre la «Metodología de Resolución de Problemas como Investigación» (MRPI), es decir, su percepción de aplicabilidad en la Educación Secundaria.
- *Capítulo 7 – Discusión global de los resultados.* La finalidad de esta sección es la de relacionar las evidencias obtenidas en los capítulos 4-6, recurrir a la triangulación de estos resultados, dar un paso más en el análisis, etc., con la meta de obtener una mejor visión del impacto de la propuesta en la consecución de los objetivos planteados

- *Capítulo 8 – Conclusiones finales.* A partir de la sección anterior de discusión global, se presentan conclusiones inéditas sobre la contribución del programa al aprendizaje de los futuros profesores y al cambio en sus creencias profesionales. Asimismo, se describe la perspectiva de continuidad de esta investigación doctoral.

Presentación de la tesis doctoral como «compendio de publicaciones»

Entre las distintas modalidades de presentación de una tesis, se ha optado por el formato de *compendio de publicaciones*, por una serie de motivos:

- Permite la lectura de *capítulos independientes* de la tesis sin necesidad de analizar el documento completo. Sus distintos artículos contienen el marco teórico en el que se sustentan, el diseño seguido para la investigación y sus propios resultados y conclusiones –son autocontenidos–. Por ello, se proporciona una mayor libertad para la lectura del documento.
- Presenta una *unidad temática* que promueve que las distintas partes del documento se enriquezcan entre sí. Es decir, además de sus ventajas, es perfectamente compatible con los aspectos exigidos para una tesis en formato “tradicional”.
- Implica un esfuerzo de interrelación y *triangulación* de los resultados que, además de las conclusiones –parciales– de las publicaciones, da lugar a otras inéditas y de carácter más global en sus últimos capítulos de «discusión global» y «conclusiones finales».
- Supone la *formación del autor*, desde el mismo momento en que comienza sus estudios de doctorado, en los aspectos asociados a la *publicación de artículos* en revistas de investigación.

En este caso, la tesis doctoral consta de 5 *artículos publicados que componen el compendio* (distribuidos en los capítulos 4–6), y 3 artículos inéditos, presentados como documentación complementaria en el capítulo 6. Sus referencias se muestran en la Tabla 1.1.

Además, para justificar la «*unidad temática*» de la tesis, la Figura 1.1 describe a qué momentos del desarrollo formativo hace referencia cada uno de los artículos (Módulo Específico o Practicum), si corresponden a ambas asignaturas de Didáctica de la Física y Didáctica de la Química o únicamente a esta última, y el propósito investigativo al que se refieren.

ARTÍCULOS PERTENECIENTES AL COMPENDIO DE PUBLICACIONES *
<p align="center">ARTÍCULO 1 (capítulo 4):</p> <p>Martínez-Aznar, M.M., Rodríguez-Arteche, I. & Gómez-Lesarri, P. (2017). La resolución de problemas profesionales como referente para la formación inicial del profesorado de física y química. <i>Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias</i>, 14(1), 162–180. DOI: 10498/18854. Accesible en: http://hdl.handle.net/10498/18854</p>
<p align="center">ARTÍCULO 2 (capítulo 5):</p> <p>Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (2016). Introducing Inquiry-Based Methodologies during Initial Secondary Education Teacher Training Using an Open-Ended Problem about Chemical Change. <i>Journal of Chemical Education</i>, 93(9), 1528–1535. DOI: 10.1021/acs.jchemed.5b01037. Accesible en: http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.5b01037</p>
<p align="center">ARTÍCULO 3 (capítulo 5):</p> <p>Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (2016). Open-ended problem solving in chemistry during initial secondary education teacher training. <i>International Journal of Learning and Teaching</i>, 8(3), 174–186. DOI: 10.18844/ijlt.v8i3.895. Accesible en: http://sproc.org/ojs/index.php/ijlt/article/view/895/pdf</p>
<p align="center">ARTÍCULO 4 (capítulo 5):</p> <p>Rodríguez-Arteche, I., Martínez-Aznar, M.M. & Garitagoitia, A. (2016). La competencia sobre planificación de investigaciones en 4º de ESO: un estudio de caso. <i>Revista Complutense de Educación</i>, 27(1), 329–351. DOI: 10.5209/rev_RCED.2016.v27.n1.46356. Accesible en: http://revistas.ucm.es/index.php/RCED/article/view/46356</p>
<p align="center">ARTÍCULO 6 (capítulo 6):</p> <p>Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (2016). Indagación y modelos didácticos: La reflexión de cuatro profesores de física y química en formación inicial. <i>Campo Abierto</i>, 35(1), 145–160. ISSN: 0213-9529. Accesible en: http://mascvux.unex.es/revistas/index.php/campoabierto/article/view/2839</p>
ARTÍCULOS INÉDITOS, PRESENTADOS COMO “DOCUMENTACIÓN COMPLEMENTARIA”
<p align="center">ARTÍCULO 5 (capítulo 6):</p> <p>Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (<i>inédito</i>). Evaluación de una propuesta para la formación inicial del profesorado de física y química a través del cambio en las creencias de los participantes.</p>
<p align="center">ARTÍCULO 7 (capítulo 6):</p> <p>Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (<i>inédito</i>). Contraposición de ideas sobre la indagación entre futuros profesores y estudiantes de secundaria.</p>
<p align="center">ARTÍCULO 8 (capítulo 6):</p> <p>Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (<i>inédito</i>). La visión sobre la indagación en la formación inicial de profesores de física y química.</p>

* La numeración de los artículos sigue un orden que responde a las temáticas abordadas y a su distribución en los distintos capítulos

Tabla 1.1. Listado de artículos que forman el compendio de publicaciones, y aquellos presentados como “documentación complementaria” en el capítulo 6

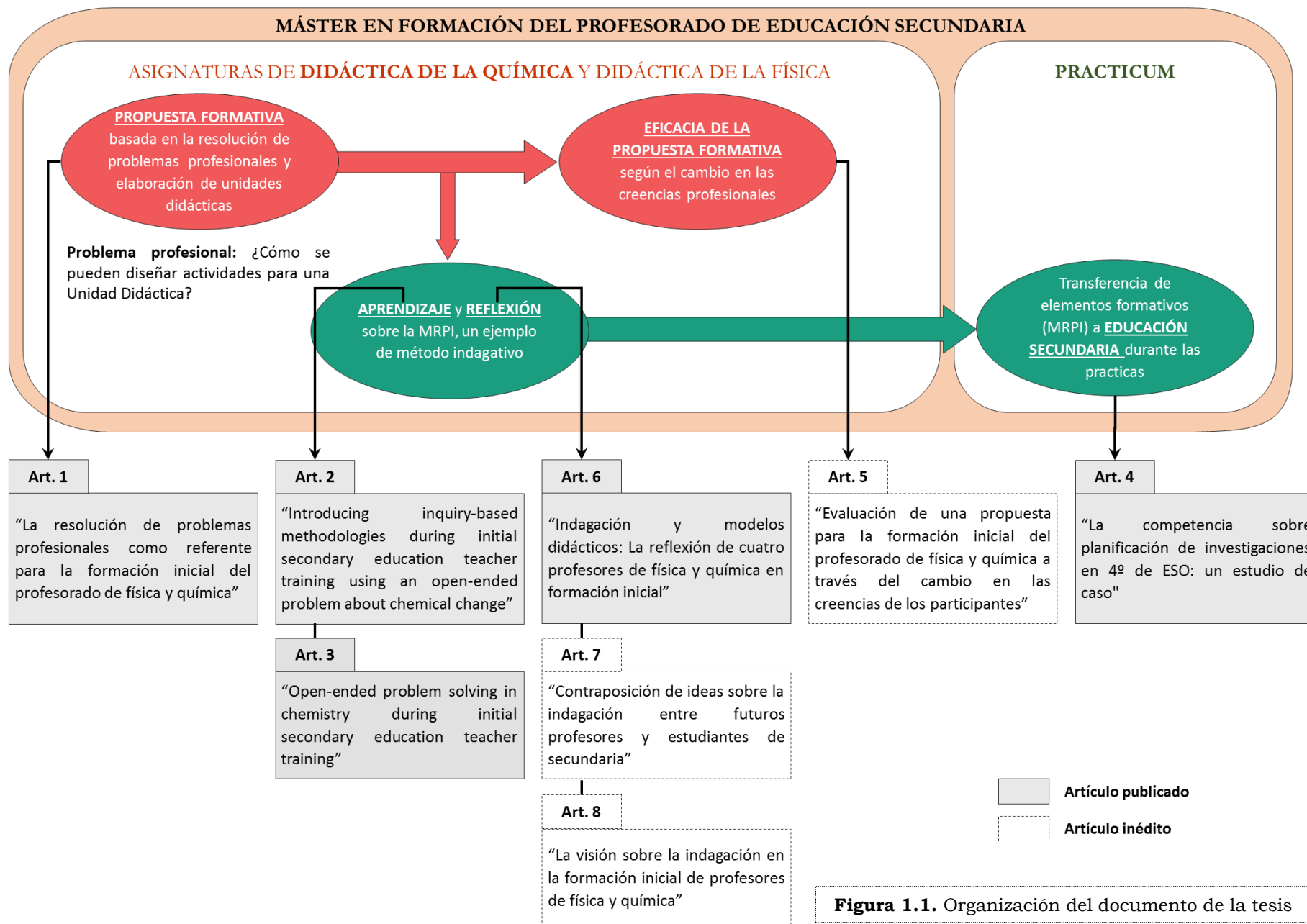


Figura 1.1. Organización del documento de la tesis

Capítulo 2

Marco Teórico

2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo muestra el marco teórico tomado en cuenta en la presente investigación. Se comienza por describir las metas asumidas para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias en Secundaria –desarrollo de competencias de los escolares– que deberán servir de referente en las asignaturas del Máster en Formación del Profesorado de Secundaria. Seguidamente, se desarrolla el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), como elemento característico del conocimiento del profesorado y herramienta útil para su formación inicial. Además, por su pertenencia al CDC y relevancia para evaluar los programas formativos, se analiza la temática de las creencias profesionales. Finalmente, se presenta la estrategia de la indagación como cambio metodológico en la enseñanza, que es uno de los aspectos en los que se centra la propuesta formativa de Didáctica de la Química abordada en la investigación.

2.1. Contexto para la formación inicial del profesorado de física y química de Secundaria

Esta sección expone las finalidades defendidas hoy en día para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias en los niveles escolares, y el contexto del que se dispone para contribuir a ellas desde la formación inicial del profesorado de Secundaria.

2.1.1. Educación científica, ¿para qué?

La investigación planteada corresponde a una propuesta para formar a los futuros profesores de física y química de Educación Secundaria, pero no por ello debemos obviar al *alumnado* de estos niveles, la verdadera razón de ser del trabajo docente. Por ello, se considera conveniente empezar indicando las finalidades descritas en la legislación española actual –LOMCE– para la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y el Bachillerato. En cada caso, se indican las siguientes descripciones (MECD, 2015a):

La finalidad de la educación secundaria obligatoria consiste en lograr que los alumnos y alumnas adquieran los elementos básicos de la cultura, especialmente en sus aspectos humanístico, artístico, científico y tecnológico; desarrollar y consolidar en ellos hábitos de estudio y de trabajo; prepararles para su incorporación a estudios posteriores y para su inserción laboral; formarles para el ejercicio de sus derechos y obligaciones en la vida como ciudadanos. (p. 23)

El bachillerato tiene como finalidad proporcionar a los alumnos formación, madurez intelectual y humana, conocimientos y habilidades que les permitan desarrollar funciones sociales e incorporarse a la vida activa con responsabilidad y competencia. Asimismo, capacitará a los alumnos para acceder a la educación superior. (p. 31)

En relación con las pretensiones anteriores, autores como Lorenzo, Muñoz y Beas (2015) hablan de tres finalidades que la Educación Secundaria ha ido asumiendo como propias: *propedéutica*, o preparatoria para ciertos estudios superiores, *técnica* o profesional, para acceder a determinadas profesiones, y *finalista* o terminal, donde la propia formación se considera como fin para vivir de forma activa y cívica en sociedad.

Centrándonos ya en el campo de la educación científica, la legislación estatal la asocia a objetivos como «acceder a los *conocimientos científicos y tecnológicos fundamentales*», «conocer y aplicar los métodos para *identificar los problemas* en los diversos campos del conocimiento y de la experiencia» o «conocer y valorar de forma crítica la *contribución de la ciencia y la tecnología* en el cambio de las condiciones de vida», (MECD, 2015a, p. 24, 32). Si se analizan estos objetivos, se puede concluir que en gran parte desde la propia LOMCE se enfatiza una visión finalista de la Educación Secundaria,¹ a pesar de que en esta última ley educativa se perciban contradicciones como la sustitución de asignaturas como las ciencias naturales por materias más específicas (o la reducción horaria de asignaturas como la filosofía), y no se haya incidido en la revisión de los currículos científicos de Bachillerato, demandada desde hace años –por ser demasiado extensos y centrados en describir hechos y resolver «ejercicios»– (Caamaño, 2006).

En todo caso, los currículos escolares desde la LOGSE vienen otorgando una especial importancia a aspectos como la participación en actividades propias de la comunidad científica, la toma de decisiones sobre situaciones problemáticas o la reflexión sobre la contribución de la ciencia y la tecnología al entorno natural y social, todo ello independientemente de la postura del alumnado sobre su futuro profesional (MEC, 1991, 2007; MECD, 2015b). Por ello, para orientar este marco teórico, se consideran dos conceptos interconectados que pueden dar buenas pistas para responder a la pregunta planteada en este apartado. Estos constructos son la Alfabetización Científica y Tecnológica (ACyT) y la competencia científica.

2.1.2. Alfabetización científica y tecnológica y Competencia científica como referentes

Para adaptar los procesos escolares de enseñanza-aprendizaje de las ciencias a una sociedad en continuo cambio, desde hace años se reclama la inclusión en las aulas de las *prácticas* o procesos característicos en la construcción del conocimiento científico (Bybee & Fuchs, 2006). Aquí se engloban el discurso y la interacción social que acompañan al desarrollo de las ciencias, y también sus aspectos tecnológicos, medioambientales o cívicos (Acevedo, Vázquez & Manassero, 2003; Banet, 2010; Kelly, 2008). Todo ello ha recibido distintas denominaciones, pero entre ellas destaca la de *Alfabetización Científica*

¹ Esta visión *finalista* presenta matices, pues el currículo básico de la LOMCE (MECD, 2015b) indica que «el segundo ciclo o cuarto curso de la Educación Secundaria Obligatoria tendrá un carácter fundamentalmente propedéutico» (p. 177) y también menciona «el carácter propedéutico del Bachillerato» (p. 483).

y Tecnológica (ACyT), un enfoque muy crítico con las propuestas estrictamente disciplinares o propedéuticas (Lemke, 2006) y considerado como referente en múltiples procesos de reforma curricular desarrollados en las últimas décadas (Abd-El-Khalick et al., 2004; Keys & Bryan, 2001; Yore & Treagust, 2006). En concreto, la Asociación Americana para el Progreso de la Ciencia (AAAS) sugiere que los elementos para considerar a una *persona* como *alfabetizada científicamente* son:

[...] la conciencia sobre el origen humano de la ciencia, las matemáticas y la tecnología, tres actividades dependientes, con fortalezas y limitaciones; la comprensión sobre conceptos y principios básicos de la ciencia; la familiarización con el mundo natural y el reconocimiento de sus aspectos unitarios y diversos; el uso del conocimiento científico y de las formas de pensamiento científico con propósitos individuales y sociales. (AAAS, 1989, p. 4).

Una formación orientada a la ACyT debe promover la capacidad de los escolares para enfrentarse, con criterios fundamentados, a distintos debates y situaciones problemáticas que involucren a la ciencia (Banet, 2010; DeBoer, 2000; Kolstø, 2006) y, por ello, debe tener como referente la formación de *ciudadanos* reflexivos (OCDE, 2013). En otros términos, el enfoque ACyT propone una formación que:

- Entiende el conocimiento científico como cultura básica para todas las personas, independientemente del tipo de formación que elijan cursar, y que a su vez permite preparar a los futuros profesionales (Banet, 2010; Furió, Vilches, Guisasola & Romo, 2001).
- Contribuye al desarrollo intelectual a través de estrategias de investigación, que favorecen el pensamiento crítico, la creatividad, el cuidado en el análisis de datos, el trabajo cooperativo, etc. (Bevins & Price, 2016; Martínez-Aznar & Bárcena, 2013; Windschitl, Thompson & Braaten, 2008).
- Promueve el desarrollo efectivo de valores y actitudes, en relación con la salud, el consumo o el medio ambiente (Ezquerro & Fernández-Sánchez, 2014; Martínez-Aznar & Ibáñez, 2006; Sevin & Talanquer, 2014).
- Proporciona una visión actual de las características de la ciencia, su construcción y evolución, sus métodos, su influencia social, los dilemas morales que plantea, etc., lo que se conoce genéricamente como *Naturaleza de la Ciencia* (Acevedo & García-Carmona, 2016; Lederman, Abd-El-Khalick, Bell & Schwartz, 2002; Vázquez, García-Carmona, Manassero & Bennassar, 2013).
- Favorece los procesos de argumentación ciudadana –etapas esenciales de la investigación científica–, incluyéndolos en actividades como la resolución de problemas o debates sobre temas sociocientíficos (Díaz-Moreno & Jiménez-Liso, 2012; Erduran, Simon & Osborne, 2004; Jiménez-Aleixandre, Bugallo & Duschl, 2000).

Las características de la Alfabetización Científica y Tecnológica (ACyT) aquí descritas proporcionan un elemento consensuado de reflexión para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Pero igualmente, para dar respuesta a la pregunta del apartado inicial, resulta oportuno introducir otro concepto complementario que en las últimas décadas ha adquirido un papel totalmente protagonista: la *competencia científica*.

De esta forma, si la ACyT hacía hincapié en la finalidad básica de la educación escolar en ciencias –la formación de ciudadanos responsables y activos en los debates y situaciones donde interviene la ciencia– la idea de competencia científica da cuenta de aquellas capacidades y valores necesarios para este quehacer. Por ello, estas competencias deben contemplarse como un medio para que los escolares logren una alfabetización científica (OCDE, 2001). Así, según la Unión Europea (2006):

Las competencias se definen como una combinación de conocimientos, capacidades y actitudes adecuadas al contexto. Las *competencias clave* son aquellas que *todas las personas* precisan para su realización y desarrollo personales, así como para la ciudadanía activa, la inclusión social y el empleo. (p. 4)

Con el propósito de construir un marco conceptual para identificar las competencias clave, en 1997 la OCDE pone en marcha el Proyecto de Selección y Definición de las Competencias –DeSeCo– (OCDE, 2005). Además, desde ese mismo año se cuenta con el Programa para la Evaluación Internacional del Alumnado (Programme for International Student Assessment, PISA), con la meta de evaluar los logros de los estudiantes al final de su escolarización obligatoria y definir su nivel de competencia.

Entre las competencias evaluadas se encuentra la *competencia científica*, que según Perales et al. (2014) se identificaría con «un conjunto de conocimientos, procedimientos y actitudes combinados, coordinados e integrados para *saber hacer* y *saber estar* [en las acciones donde interviene la ciencia]» (p. 10). Aquí, el término *acción* cobra una gran importancia, pues la competencia científica se define en relación a contextos específicos como la toma de decisiones, la resolución de problemas, la justificación de evidencias en distintos formatos o la predicción de fenómenos (Pedrinaci, Caamaño, Cañal & Pro, 2012).

De forma trienal desde el año 2000, PISA evalúa el desempeño de los escolares de 15 años en la competencia científica, además de en las competencias matemática y lectora (cada año se hace especial hincapié en una de las tres). Con ello, los resultados de estas evaluaciones permiten analizar el progreso del alumnado de cada país participantes en el aprendizaje de estos tres ámbitos clave, así como proponer y evaluar medidas de mejora para los sistemas educativos.

En relación con la *competencia científica*, ésta ha sido el foco principal de las evaluaciones de 2006 y 2015, ediciones que se han desarrollado a partir de diferentes marcos teóricos (aunque similares entre sí). En concreto, en la evaluación PISA de 2006 (OCDE, 2006a), la competencia científica incluye tres dimensiones relacionadas con la ACyT: *i)* identificar cuestiones científicas, *ii)* explicar fenómenos científicamente, y *iii)* utilizar pruebas científicas.

Esta asignación de capacidades y la noción general sobre la alfabetización científica, junto con los *contextos* y *componentes del conocimiento* que habría que construir, se re-definen para la edición PISA 2015 (OCDE, 2013). Su planteamiento general, que vuelve a incluir *tres dimensiones* de la competencia científica, se muestra en la Figura 2.1.

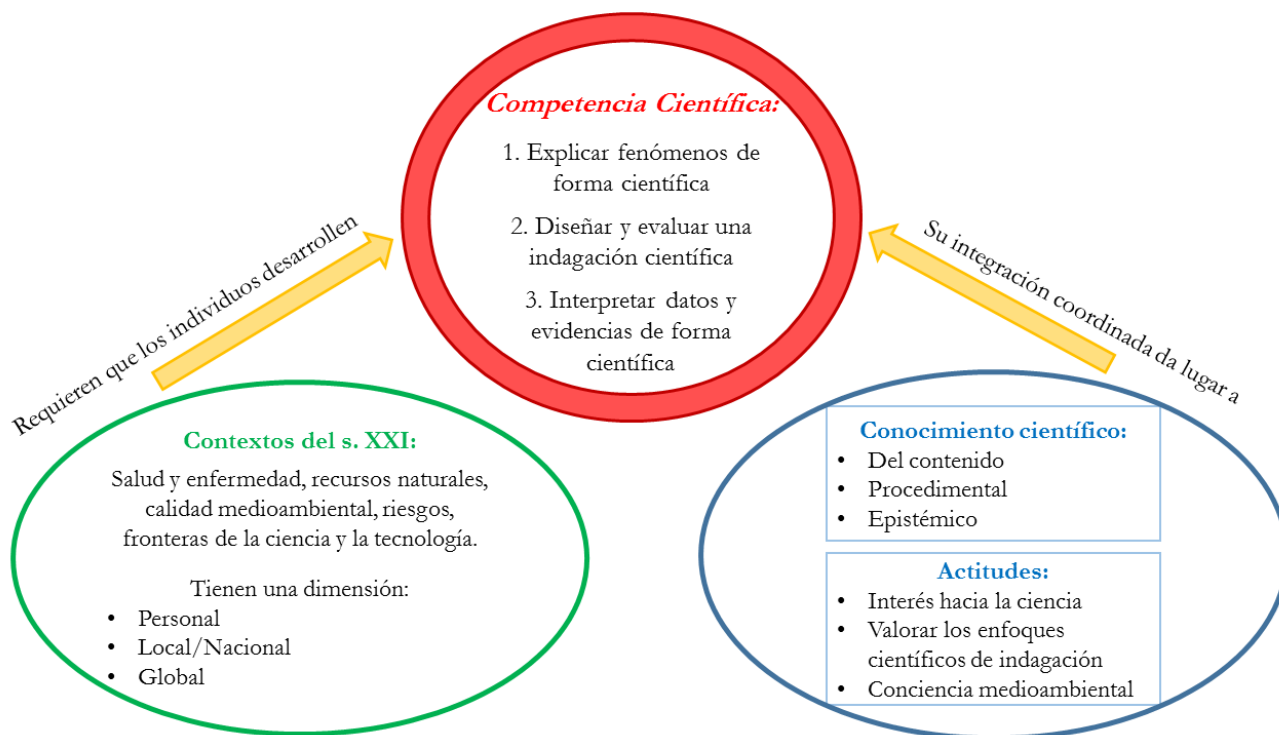


Figura 2.1. Marco teórico para la evaluación de la competencia científica en PISA 2015.
Adaptado de OCDE (2013)

Para hacer frente a los contextos y desafíos del s. XXI, PISA 2015 propone la necesidad de construir, de forma *integrada* (Figura 2.1):

- Conocimientos de ciencia, «del contenido»: conceptos, ideas, teorías, etc., establecidos por la ciencia sobre el mundo natural.
- Conocimientos sobre la ciencia, «epistémicos»: procesos utilizados en la construcción del conocimiento científico, *p.ej.*, la formulación de preguntas, las observaciones, la emisión de hipótesis, los modelos, la argumentación, etc.
- Destrezas procedimentales: conocimiento sobre las prácticas que dan lugar a la investigación científica, *p.ej.*, el control de las variables, los procedimientos para representar y comunicar datos, la utilización de estrategias complementarias para corroborar las conclusiones, etc.
- Actitudes favorables hacia la ciencia, que repercutan en su mejora e impliquen asumir valores sociales y medioambientales en la toma de decisiones sobre temas de ciencias.

A partir de la construcción integrada de los conocimientos anteriores, los escolares pueden desarrollar su competencia científica, identificada con 3 dimensiones fundamentales (Figura 2.1). La primera de ellas, «*explicar fenómenos de forma científica*» conlleva identificar, proponer y evaluar explicaciones y modelos para una variedad de fenómenos naturales y tecnológicos. La segunda, «*diseñar y evaluar indagaciones científicas*», implica capacidades como la formulación de hipótesis y preguntas investigables, o el diseño y desarrollo de pequeñas investigaciones. La tercera, «*interpretar datos y evidencias de forma científica*», supone analizar y evaluar observaciones, argumentos y datos representados de distintas formas, para poder llegar a conclusiones adecuadas (OCDE, 2013).

De este modo, una enseñanza de las ciencias encaminada a promover la ACyT a través del desarrollo de la competencia científica, debe favorecer una visión global de la ciencia como «proceso y producto» (Duschl, 2008; Martínez-Aznar, Varela, Ezquerro & Sotres, 2013), un aspecto coherente con las recomendaciones curriculares actuales. Como indica el marco NRC (2012): «La Ciencia no es simplemente un cuerpo de conocimiento que refleja la comprensión actual sobre el mundo; la Ciencia también debe entenderse como un conjunto de prácticas utilizadas para establecer, ampliar y refinar dicho conocimiento» (p. 27).

2.1.3. La enseñanza-aprendizaje de las ciencias en el sistema educativo español

En concordancia con las recomendaciones internacionales, en las últimas décadas se ha producido una revisión de los currículos españoles para apoyar un cambio desde el trabajo sobre contenidos hacia el «trabajo por competencias» (Martínez-Aznar, 2009; Pro, 2011). Así, la LOGSE (1990) propugna un importante cambio metodológico que se ve reforzado con la LOE (2006). Esta última ley introduce *ocho competencias básicas* como elemento vertebrador de los currículos de la Educación Primaria y Secundaria (MEC, 2007)² y renueva los criterios de evaluación, dotándolos de mayor concreción, contextualización y alineamiento con programas internacionales de evaluación como PISA y TIMSS (Cañas, Martín-Díaz & Nieda, 2007; Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2013). A su vez la LOMCE, (2013) establece una reorganización de estos aspectos en *siete competencias clave* (MECD, 2015c) y formula «estándares de aprendizaje evaluables» que suponen un mayor nivel de concreción, en términos competenciales, que los criterios de evaluación. En ambos currículos, el aprendizaje basado en competencias se concibe como transversal y dinámico, pues estas competencias deben trabajarse desde distintas áreas de conocimiento y por diversos agentes –*carácter transversal*– y conllevan un proceso de desarrollo que no finaliza en la etapa escolar, lo que refleja su *dinamismo* (Cañal, 2012; MECD,

² Estas competencias se ajustan en gran medida al marco general de la UE (2006). Las diferencias corresponden al desglose entre competencia matemática y competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico, y al agrupamiento de la comunicación en lengua materna y en lenguas extranjeras en una única competencia en comunicación lingüística.

2015c; Pérez-Gómez, 2007). La Tabla 2.1 muestra las competencias recogidas en estos últimos currículos escolares.

Comp. básicas LOE (MEC, 2007)	Comp. clave LOMCE (MECD, 2015c)
Competencia en comunicación lingüística	Competencia en comunicación lingüística
Competencia matemática	Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología
Competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico	
Tratamiento de la información y competencia digital	Competencia digital
Competencia social y ciudadana	Competencias sociales y cívicas
Competencia cultural y artística	Conciencia y expresiones culturales
Competencia para aprender a aprender	Competencia para aprender a aprender
Autonomía e iniciativa personal	Sentido de la iniciativa y espíritu emprendedor

Tabla 2.1. Listado de competencias a desarrollar en la Educación Primaria y Secundaria

Si se analizan las indicaciones de la LOMCE sobre las *competencias básicas en ciencia y tecnología*, se puede comprobar un alto grado de acuerdo con el marco teórico de PISA 2015 y con la ACyT como finalidad principal de la educación científica. En este sentido, el currículo subraya su contribución al desarrollo del pensamiento científico, ya que «conducen a la contrastación de ideas y la aplicación de los descubrimientos al bienestar social» y «capacitan a ciudadanos responsables y respetuosos que desarrollan juicios críticos sobre los hechos» (MECD, 2015c, p. 6994). Asimismo, en la descripción de esta competencia, la LOMCE incluye características semejantes a las incluidas en las dimensiones competenciales de PISA, tales como:

- Desarrollar explicaciones y juicios críticos sobre los hechos científicos y tecnológicos que se producen a lo largo del tiempo.
- Identificar, plantear y resolver preguntas, situaciones y problemas de la vida cotidiana, de forma análoga a como se actúa frente a los retos propios de las actividades científico-tecnológicas.
- Utilizar datos y observaciones científicas para alcanzar un objetivo, llegar a una conclusión o tomar decisiones a partir de pruebas y argumentos (MECD, 2015c, p. 6994).

La revisión de las recomendaciones estatales e internacionales recogidas en este capítulo da cuenta de un consenso amplio en relación a los fines básicos de la educación científica en las etapas escolares. No obstante, no debemos obviar la trascendencia del cambio que supone para los docentes la transición desde una metodología *tradicional* de enseñanza, hacia otra *alternativa* encaminada al desarrollo de competencias clave –entre

ellas, la científica– (Franco-Mariscal, Blanco & España, 2017; Porlán et al., 2010). La propuesta de un aprendizaje basado en competencias supone dejar atrás un modelo de enseñanza basado en las explicaciones verbales, en la memoria como principal garante del aprendizaje o en el trabajo permanente sobre actividades cerradas de tipo numérico (Bárcena, 2015; Martínez-Torregrosa, Domènech, Menargues & Romo, 2012; Rosa, 2016). Quizás, esta transformación pueda verse como un «problema añadido» en un cuerpo profesional inmerso en una cierta *crisis*, debida a la indiferencia del alumnado hacia el trabajo en el aula, en un contexto donde la información se encuentra por doquier (Fernández-Enguita, 2016). Sin embargo, desde la comunidad dedicada a la formación de profesores y a la investigación en didáctica de las ciencias, este énfasis en la ACyT y en el trabajo sobre competencias se asume como una *oportunidad* para mejorar el desempeño de los escolares y su motivación hacia estas materias, ya que:

- Al reconocer la importancia de la indagación escolar, se promueve la autonomía e iniciativa de los estudiantes, favoreciendo su implicación en un aprendizaje práctico y motivador (Pavón & Martínez-Aznar, 2014; Tuan, Chin, Tsai & Cheng, 2005;).
- Se defiende el carácter tentativo y experimental de las ciencias, un aspecto a menudo olvidado en las aulas escolares (Pro, 2011; Weaver, Russell & Wink, 2008).
- El papel activo y protagonista del alumnado, que debe construir distintos tipos de conocimiento para resolver desafíos, explicar y predecir fenómenos, favorece su comprensión conceptual y la persistencia temporal de su aprendizaje (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005; Minner, Levy & Century, 2010).
- Las actividades se articulan sobre contextos específicos, relevantes desde el punto de vista personal (vida cotidiana), local o global, permitiendo analizar las condiciones que promueven mayores beneficios individuales y sociales (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2007; Rodríguez-Mora & Blanco, 2016; Vilches & Gil-Pérez, 2013).
- El esmero de programas como PISA en formular y *ejemplificar* de forma precisa las competencias científicas –acompañado de otros procesos de reforma curricular, como Next Generation Science Standards en Estados Unidos (Krajcik, Codere, Dahsah, Bayer & Mun, 2014)–, convierte estos indicadores en una guía útil para diseñar y evaluar propuestas de enseñanza (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2015a; Franco-Mariscal et al., 2017).

Una vez descrito el contexto curricular español, y las oportunidades que ofrece la transición a una enseñanza-aprendizaje más activa y alineada con las recomendaciones internacionales, cabe preguntarse por la situación del sistema educativo en relación a la *competencia científica*. Para ello, la Tabla 2.2 recoge las puntuaciones medias de España en las evaluaciones PISA del periodo 2000–2015, comparadas con los valores medios obtenidos por los países de la OCDE.

PISA 2000 *	PISA 2003	PISA 2006	PISA 2009	PISA 2012	PISA 2015
491 (500)	487 (499)	488 (500)	488 (501)	496 (501)	493 (493)

* Entre paréntesis se indica la puntuación media de los países de la OCDE

Tabla 2.2. Puntuaciones medias de España para la *competencia científica*

Se comprueba que a lo largo de las ediciones 2000-2012, los escolares españoles se sitúan por debajo de la media de la OCDE en relación a la competencia científica, de forma estadísticamente significativa. En PISA 2015, los resultados españoles igualan a los de la OCDE. Sin embargo, se observa un cierto “estancamiento” de estos resultados en el rango 487–496.³

Dado que una parte importante de esta investigación se centra en la resolución de problemas, conviene revisar igualmente un aspecto del informe PISA 2012 concerniente a «*creative problem solving*». Según la OCDE (2014), esta subcompetencia hace referencia a destrezas como la exploración y representación de los problemas, la planificación de estrategias para encontrar soluciones y, en definitiva, a la participación como ciudadanos reflexivos en situaciones cuya solución no es obvia ni inmediata.

Los resultados en esta competencia revelan que España está 23 puntos por debajo de la media de la OCDE (477 frente a 500), con un 28% de los escolares en los niveles más bajos de competencia (niveles 0 o 1, en una escala del 0 al 6), frente a un valor medio del 20% en la OCDE.

La diversidad y complejidad de las aulas no aconseja adoptar una posición tajante sobre el desarrollo actual de las clases de ciencias, en un contexto general. Además, investigadores del área reclaman prudencia en la extrapolación de conclusiones, teniendo en cuenta el diseño tipo test de las pruebas, la ausencia de actividades de naturaleza más “global” o la demanda de una mejor distribución de los ítems para las dimensiones de la competencia científica (Drechsel, Carstensen & Prenzel, 2011; Lau, 2009; Yus et al., 2013). Pero en todo caso, los datos mostrados sobre el contexto español reclaman una reflexión orientada a mejorar la adquisición de *competencias* de los escolares (Franco-Mariscal et al., 2017; Pérez-Landazábal & Varela, 2013; Puente, 2008).

En este sentido, se reivindica el papel de la comunidad dedicada a la formación de futuros docentes para contribuir a una renovación de la enseñanza de las ciencias (Cadenas & Huertas, 2013; Hernández, 2006;), puesto que los profesores son considerados como el principal *agente de cambio educativo* (Rocard et al., 2007). Así, es necesario que «el profesorado tenga una formación orientada a la mejora del *aprendizaje*» (Hernández, 2006), entendido como un proceso activo de desarrollo de competencias.

³ Estos valores siguen distando mucho de los de otros países europeos como Finlandia, Estonia, Alemania, Reino Unido, Holanda o Eslovenia, y empiezan a verse superados por los países como Portugal, que comenzó su andadura en PISA con valores bastante inferiores a los españoles.

Precisamente, el trabajo aquí presentado pretende contribuir en esta línea, pues corresponde a una propuesta formativa para el futuro profesorado de física y química que promueve el uso de la *indagación* en las aulas. Por ello, resulta necesario presentar el contexto en el que se desarrolla la formación inicial del profesorado de Secundaria en España, un aspecto discutido en el siguiente apartado.

2.1.4. Marco formativo para el futuro profesorado de Educación Secundaria

En primer lugar, cabe decir que en el contexto europeo la formación del profesorado de Secundaria incluye un componente «general» y otro «profesional» (EURYDICE, 2013). El primero consiste en cursos que ofrecen una preparación genérica y la especialización en una o varias materias. El segundo engloba materias o talleres para desarrollar aptitudes características de la profesión docente, y formación práctica en centros escolares (Lorenzo et al., 2015). Sin embargo, la *organización* de estos dos componentes difiere entre países, lo que da pie a hablar de «modelos de formación inicial», donde se distinguen (Esteve, 2006):

- *Modelos concurrentes o simultáneos.* Al mismo tiempo, el futuro profesor completa estudios sobre el cuerpo de conocimiento que va a enseñar y recibe una formación específica (profesionalizante) para trabajar su área de estudio en las aulas escolares.
- *Modelos consecutivos o sucesivos.* Primero se proporciona una formación académica sobre los contenidos que se van a enseñar, y luego se cursa una formación profesional sobre los conocimientos pedagógicos y didácticos y las destrezas necesarias para trabajar esos contenidos en las aulas.

Además, en muchos de los países europeos existe una cierta *coexistencia de los modelos de formación*⁴ (a veces, debido a una escasez de profesores). En estos casos, es posible compatibilizar una formación especializada sobre un área con materias referentes a su didáctica en los planes de estudio universitarios, o bien cursar el componente «profesional» de la formación a posteriori (Lorenzo et al., 2015).

A partir de los datos del informe EURYDICE (2013), la Tabla 2.3 concreta los países europeos que siguen los respectivos modelos de formación del profesorado. Cabe destacar que el documento distingue la Educación Secundaria obligatoria (*Lower secondary education*, correspondiente a la ESO) y post-obligatoria (*Upper secondary education*), y que los datos de la tabla se asocian a la primera de estas etapas.

⁴ Por motivos históricos, a veces se utiliza la terminología de «modelo inglés» para hacer referencia a la coexistencia de ambos modelos de formación.

Modelos concurrentes o simultáneos	Modelos consecutivos o sucesivos	Coexistencia de modelos
Alemania, Bélgica, Dinamarca, Eslovaquia, Islandia, Turquía	Chipre, España, Estonia, Francia, Hungría, Italia, Luxemburgo, Portugal	Austria, Bulgaria, Croacia, Eslovenia, Finlandia, Grecia, Holanda, Irlanda, Letonia, Lituania, Malta, Noruega, Polonia, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia

Tabla 2.3. Modelos de formación del profesorado de Educación Secundaria obligatoria, a partir de EURYDICE (2013)

En relación con la elección de unos u otros modelos formativos por parte de los países, existen argumentos para justificar ambas opciones. Una desventaja de los modelos concurrentes puede ser su excesiva profesionalización y la limitación de otras salidas laborales (Gutiérrez, 2011). Sin embargo, buena parte de los formadores de docentes identifica más aspectos ventajosos en este primer modelo formativo (Mellado, 2000). En esta línea Esteve (2006) defiende que:

Los modelos consecutivos generan [...] una identidad profesional falsa, en la que el futuro profesor se ve a sí mismo primero como un académico especialista, como químico inorgánico, como medievalista [...] y luego considera una humillación rebajarse a la ingrata tarea de traducir sus altos saberes académicos para hacerlos asequibles a niños y adolescentes ignorantes. (p. 26)

A su vez, este autor expone que:

En los modelos simultáneos, desde el primer momento el futuro profesor sabe que se prepara para ser un intermediario entre la ciencia que intenta dominar y el alumnado al que habrá de enseñarla. [...] Cuando se estudia una disciplina científica con la mentalidad de enseñarla, se van elaborando estrategias didácticas al mismo tiempo que se asimilan los contenidos, perfilando desde el inicio [...] una identidad profesional como docente. (Esteve, 2006, p. 26-27)

En cualquier caso, España lleva años abogando por un modelo consecutivo para formar al profesorado de estos niveles, que hoy en día se concreta en el *Máster en Formación del Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas* (MFPS), una titulación de posgrado en vigor desde el curso 2009/10.

Sin remontarnos demasiado en el tiempo, el MFPS viene a sustituir al CAP (*Curso de Aptitud Pedagógica*), un curso de 300 horas de duración dividido en:

- Un *Ciclo teórico*, sobre los fundamentos psicológicos y sociológicos de la educación, didácticas específicas, tecnología educativa, etc. (150 horas); y

- Un *Ciclo práctico*, consistente en prácticas de observación e intervención en un centro de Secundaria (150 horas).

El CAP se impartía en los Institutos de Ciencias de la Educación (ICE) y se consideraba un requisito para acceder al cuerpo de profesores de Educación Secundaria. Su mayor o menor formalización dependía de las instituciones que lo impulsaban –las Universidades a los que estaban vinculados los ICE–, lo que permitió la existencia de otras propuestas e iniciativas que se desarrollaron de forma simultánea (Gutiérrez, 2011).

Entre estas alternativas se encuentra la *Propuesta del Grupo XV*, inicialmente planteada como una doble titulación universitaria (“3 + 2”) donde la segunda parte correspondería a estudios psicopedagógicos y didácticos relacionados con la diplomatura cursada. Sin embargo, finalmente se optó por una única titulación oficial de postgrado, de 600 horas.

Otra de las iniciativas, denominada *FIPS* (Formación Inicial de los Profesores de Secundaria), surge desde algunos ICE en colaboración con las Administraciones del MEC y las Consejerías de Educación. Esta titulación de postgrado se estructuraba en un módulo teórico (400 horas) con asignaturas de carácter psico-socio-pedagógico, fundamentación científica y didácticas específicas, y un módulo de prácticas docentes de 200 horas (Brincones, Aparicio & Rodríguez-Moneo, 1991).

Del mismo modo, tras la promulgación de la Ley Orgánica General del Sistema Educativo en 1990 (LOGSE) se desarrolla el *Curso de Cualificación Pedagógica* (CCP), de 600 horas y con características semejantes a las propuestas previas. Sin embargo, las Administraciones educativas pudieron seguir organizando paralelamente los cursos del CAP, que se prolongaron como opción mayoritaria hasta el 2008/09.

Finalmente, la Ley Orgánica de Educación de 2006 (LOE), amparada en el Espacio Europeo de Educación Superior que deriva de la Declaración de Bolonia (1999), impulsa el *Máster en Formación del Profesorado de Educación Secundaria* (MFPS), la titulación que actualmente capacita para ejercer la docencia en estos niveles. La Orden ECI/3858/2007 señala que las enseñanzas del MFPS se estructuran en especialidades acordes a las materias y ámbitos docentes, identifica sus objetivos de forma ligada a las *competencias* a desarrollar, establece un mínimo de presencialidad del 80% y concreta los módulos básicos del plan de estudios. Además, esta Orden permite que cada Universidad defina la asignación de 8 de los 60 créditos ECTS de la titulación a estos u otros «módulos», según su propio plan. La Tabla 2.4 muestra la concreción de la especialidad de física y química del MFPS en la Universidad Complutense de Madrid (UCM), relacionándose con los requisitos establecidos por la normativa estatal.

Módulo * Materias		Nº de créditos europeos (plan UCM)
Orden ECI/3858/2007	UCM. Especialidad de física y química	
Módulo Genérico¹		
APRENDIZAJE Y DESARROLLO DE LA PERSONALIDAD		4
PROCESOS Y CONTEXTOS EDUCATIVOS		4
SOCIEDAD, FAMILIA Y EDUCACIÓN		4
Módulo Específico²		
COMPLEMENTOS PARA LA FORMACIÓN DISCIPLINAR	Complementos de física // Complementos de química (según titulación inicial)	10
	Las respuestas de la física y la química a los retos del mundo actual	5
APRENDIZAJE Y ENSEÑANZA DE LAS MATERIAS CORRESPONDIENTES	Didáctica de la física	5
	Didáctica de la química	5
INNOVACIÓN DOCENTE E INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN EDUCATIVA	Investigación, innovación y diseño curricular en la didáctica de la química y de la física	5
Módulo de Practicum³		
PRACTICUM EN LA ESPECIALIZACIÓN, INCLUYENDO EL TRABAJO FIN DE MÁSTER	Prácticas en un centro	12
	Trabajo fin de máster	6

* Mínimo de créditos ECTS según la Orden Ministerial: ¹ 12 créditos, ² 24 créditos, ³ 16 créditos

Tabla 2.4. Concreción de la ORDEN ECI/3858/2007 para la especialidad de física y química de la UCM

Según se observa en la Tabla 2.4, en relación a los requisitos mínimos de la Orden Ministerial, la UCM opta por reforzar el Módulo Específico (en 6 ECTS) y el Practicum (en 2 ECTS). Además, en el caso de la especialidad de física y química, los «Complementos para la Formación Disciplinar» y el «Aprendizaje y Enseñanza de las Materias Correspondientes» se subdividen. Esta última materia, objeto de la tesis doctoral, se reparte como Didáctica de la Química y Didáctica de la Física,⁵ asignaturas que deben facilitar que el futuro profesorado desarrolle las siguientes competencias (Orden ECI 3858/2007, p. 53753):

- Conocer los desarrollo teórico-prácticos de la enseñanza y el aprendizaje de las materias correspondientes
- Transformar los currículos en programas de actividades y de trabajo
- Adquirir criterios de selección y elaboración de materiales educativos

⁵ A pesar de su reparto, asumido para trabajar ejemplos de Unidades Didácticas escolares para química y física, las asignaturas se imparten de forma consecutiva (2 días por semana) y cuentan con una cooperación estrecha. En muchos casos, se imparten sesiones comunes a cargo de solo uno de los formadores.

- Fomentar un clima que facilite el aprendizaje y ponga en valor las aportaciones de los estudiantes
- Integrar la formación en comunicación audiovisual y multimedia en el proceso de enseñanza-aprendizaje
- Conocer estrategias y técnicas de evaluación y entender la evaluación como un instrumento de regulación y estímulo al esfuerzo

A la hora de concretar estas competencias en programas formativos específicos, se dota de una autonomía notable a las universidades para la selección de contenidos. Este hecho se constata en un estudio reciente (Rivero, Martínez-Aznar, Pontes & Oliva, 2014), comprobándose la ausencia de algún contenido común en las guías didácticas sobre «Aprendizaje y Enseñanza de la Física y la Química» de 6 universidades públicas españolas. No obstante, sí que se observan aspectos incluidos en la mayor parte de los planes formativos, tales como: alfabetización, modelos de enseñanza, actividades, teorías del aprendizaje, currículo, resolución de problemas o TIC.

Para concluir esta sección, cabe decir que la sustitución del CAP por una titulación de máster, con mayor carga horaria en las asignaturas teórico-prácticas y en el Practicum, mejores oportunidades de interacción entre universidad y centros escolares, promoción de una práctica reflexiva-investigativa desde el TFM, etc., ha sido recibida de manera muy positiva por parte de la comunidad dedicada a la formación de profesores de ciencias.

Es cierto que se detectan algunas críticas sobre su implementación en estos primeros años, relacionadas con la asignación de la docencia (Vilches & Gil-Pérez, 2010), la participación de departamentos ajenos a la didáctica de las ciencias experimentales en el Módulo Específico, la incoherencia entre los modelos de enseñanza utilizados en las asignaturas (Benarroch, 2011), la organización del Practicum (Solbes & Gavidia, 2013), etc. Pero igualmente, se comienza a detectar un buen número de ejemplos de “buenas prácticas” correspondientes a las asignaturas de didáctica de las ciencias. Entre ellos, encontramos la elaboración de Unidades Didácticas basadas en competencias (Martínez-Aznar et al., 2013), el diseño de juegos de rol sobre temáticas ambientales (España, Rueda & Blanco, 2013), la participación en actividades indagativas escolares (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2015b; Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016a, 2016b), la elaboración de materiales audiovisuales (Ezquerro, Burgos & Manso, 2016), el análisis de secuencias didácticas (Jiménez-Tenorio & Oliva, 2016a) o la reflexión sobre aspectos de la naturaleza de la ciencia y de su historia (Acevedo, García-Carmona & Aragón, 2017; Vázquez & Manassero, 2013).

Por ello, a pesar de las dificultades, parece oportuno terminar reivindicando el papel de los agentes implicados en la formación del profesorado de Secundaria –desde el Máster– en la consecución de una renovación de la enseñanza.

2.2. Elementos para diseñar una propuesta formativa para las asignaturas de didáctica del Máster en Formación del Profesorado

En esta sección se realiza un análisis sobre los conocimientos y destrezas que requiere un docente para contribuir a las metas ya expuestas (ACyT y competencia científica). En particular, se aborda el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), como elemento distintivo del conocimiento profesional y herramienta útil para articular las asignaturas de didáctica del Máster en Formación del Profesorado de Secundaria. Asimismo, por su relevancia en la construcción del CDC, se presenta la temática de las creencias profesionales y los modelos didácticos, aspectos a tener muy presentes en el diseño de toda propuesta formativa que, a su vez, conforman una estrategia para evaluar su eficacia.

2.2.1. Conocimiento profesional docente

¿Qué debe ser capaz de hacer un profesor? ¿Qué conocimientos requiere para desempeñar adecuadamente su labor? ¿Qué es lo que distingue a un profesor de ciencias de otras profesiones que requieren una titulación de tipo científico? El diseño de una propuesta formativa para el futuro profesorado demanda una reflexión previa sobre la *profesionalidad docente*, entendida como aquello que caracteriza a los integrantes de esta profesión como grupo social. Sin embargo, el significado que se asuma sobre este aspecto se ve afectado por las creencias sobre el trabajo de los docentes (Feiman-Nemser, 2001; Solís, 2005), hecho que influye de forma relevante en las orientaciones de un programa de formación.

A partir de lo expuesto en las secciones anteriores sobre la ACyT y la competencia científica, en esta investigación se considera una visión similar a la apuntada por Esteve (1997). De este modo, se asume que la *profesionalidad docente* del profesorado de Secundaria se basa en ejercer de forma satisfactoria la variedad de funciones educativas que le son encomendadas, para lograr que los alumnos construyan conocimiento y desarrollen capacidades que les ayuden a comprender su entorno natural y social.

En todo caso, sea cual sea el significado otorgado a este concepto, su construcción por parte de los individuos se relaciona con una multitud de factores (Martín del Pozo & Rivero, 2001; Pontes, Serrano & Poyato, 2013), tales como la visión de la Educación Secundaria, la interpretación de los procesos de aprendizaje, el interés por la docencia o la selección de estrategias metodológicas y recursos. Darder (2009) identifica tres dimensiones sobre las que se vertebra el trabajo del profesor, *pensar, sentir y actuar*, características que revelan la práctica docente como una actividad compleja que se desarrolla, de forma simultánea, en tres dominios (Pontes et al., 2013):

- *Dominio cognitivo* o del saber académico: conocimiento de la disciplina, concepciones epistemológicas y psicológicas, conocimiento didáctico, etc.

- *Dominio emocional* o afectivo: motivaciones, valores, sentimientos en el aula, relaciones sociales con compañeros, alumnos, familias, etc.
- *Dominio práctico* sobre las habilidades o destrezas: planificación de los procesos, elaboración de materiales didácticos, gestión de aula, comunicación, trabajo en equipo, evaluación de la enseñanza y el aprendizaje, etc.

Estas dimensiones, a su vez, originan una percepción del propio individuo como integrante de la profesión, lo que se conoce como *identidad profesional*. Esta noción sobre el propio docente depende de diversos factores (Bolívar, 2006; Poyato, 2016), *externos* (el prestigio de la profesión en la sociedad, el estatus que ostenta el sujeto, etc.), *internos* (su nivel de conocimiento, vocación, autoestima, etc.) e *interactivos* (las relaciones que se establecen en la función docente, que dan lugar a una determinada cultura profesional).

En relación al diseño de las asignaturas del Máster en Formación del Profesorado de Educación Secundaria (MFPS), establecer qué tienen que «saber y saber hacer» los futuros profesores de ciencias (Cochran-Smith, 2001; Gil-Pérez, 1991) o cuáles son las «competencias docentes» –saberes, destrezas y actitudes– que deben desarrollar (Perrenoud, 2004) resulta un requisito previo al desarrollo de propuestas específicas, y una reflexión que debe articular su implementación.

En este sentido, cabe decir que un profesor no se considera como un mero técnico que «sigue instrucciones», sino como un profesional reflexivo, que procesa información, asume decisiones y construye conocimiento práctico para ejercer su trabajo (Guisasola, Barragués & Garmendia, 2013; Mellado, 2001, 2003). Como tal, resulta comprensible que el profesorado requiera un conocimiento que vaya más allá del conocimiento estrictamente disciplinar y de las destrezas puramente experienciales (Porlán et al., 2010; Porlán, Rivero & Martín del Pozo, 1997). Nos encontramos en un momento fecundo en investigación y en desarrollo de estrategias y recursos educativos, construcciones que están viendo la luz a un ritmo muy elevado (Roth & Tobin, 2001). Fruto de ello, se percibe un amplio debate sobre qué deberían saber los profesores y cuál debería ser el modelo formativo para prepararlos (Fernández-Enguita, 2016), un debate que la comunidad dedicada a la didáctica y a la formación de docentes de ciencias asume como propio (Evagorou, Dillon, Viiri & Albe, 2015; Gil-Pérez, 1991; Loughran, 2007; Mellado, 2001).

En todo caso, cabe destacar la existencia de un cierto consenso acerca de los requisitos formativos básicos del profesorado, que incluyen los *conocimientos*: (i) *del contexto*, (ii) *psicopedagógico*, (iii) *del contenido* y (iv) *didáctico del contenido* (Gess-Newsome, 1999; Grossman, 1990; Guisasola et al., 2013; Nilsson, 2008).⁶ Por ello, en primer lugar la

⁶ En ocasiones, siguiendo a Shulman (1987) se habla de 7 categorías para las «bases del conocimiento profesional» del profesorado: conocimiento del contenido, conocimiento pedagógico general, conocimiento curricular, conocimiento didáctico del contenido, conocimiento de los aprendices y sus características, conocimiento de los contextos educativos y conocimiento de los fines y valores de la educación.

formación inicial debería analizar la enseñanza como profesión, abordando las condiciones en que se ejerce la docencia: el aula, la integración en un proyecto de centro, la adaptación al entorno social, la regulación gubernamental, el aprendizaje sobre las culturas de los escolares, la comunicación con las familias, etc., aspectos que pueden suponer un aumento en las responsabilidades “tradicionales” del profesor (Hatch, 1999; Marcelo, 2009; Moliner & Ortí, 2016). Igualmente, el conocimiento psicopedagógico general, que analiza los procesos de enseñanza-aprendizaje de forma un tanto independiente de los contenidos específicos, proporciona información relevante para la mejora educativa: los rasgos del desarrollo de los adolescentes, las estrategias de metacognición, la comunicación e interacciones en el aula, la dinámica psicosocial en los centros escolares, etc. (Solís, 2005).

Pasando ya a los dos últimos componentes del listado anterior –más fuertemente vinculados a las didácticas específicas–, el *Conocimiento del Contenido* disciplinar (o CC) hace referencia a la cantidad, calidad y organización de la información sobre un determinado campo del saber (Zeidler, 2002). Además, el CC incluye elementos de dos tipos (Gil-Pérez, 1993a; Solís, 2005; Vázquez, Acevedo & Manassero, 2005; Wang, Moore, Roehrig & Park, 2011):

- *Componentes sintácticos* o metadisciplinarios, a los que es habitual referirse como *Naturaleza de la Ciencia*. Consisten en aspectos ligados a la investigación, al conocimiento de la historia de la ciencia y los problemas que originaron la construcción de este conocimiento, al contexto histórico, social e ideológico donde surge cada problemática, a las interacciones CTSA y STEM, etc. Como indica Furió (1994), «la adquisición de estos conocimientos será una herramienta vital para aquel profesor que [...] quiera “problematizar” sus enseñanzas y presentar una imagen de la ciencia más real, más contextualizada socialmente y menos “neutra”» (p. 191).
- *Componentes sustantivos*. Corresponden al cuerpo de conocimiento disciplinar, y además de los conceptos, hechos y teorías específicos, incluyen las capacidades necesarias para construir conocimiento sobre la disciplina –modelización, indagación, competencia matemática, etc.–, es decir, descriptores como los analizados en la sección sobre la ACyT y la competencia científica.

Resulta difícil cuestionar la relevancia del Conocimiento del Contenido (CC) para ejercer la profesión docente, lo que lleva a que se identifique de forma popular con el «conocimiento principal de un profesor». Un profesor con un CC escaso, fragmentado o incoexo difícilmente podrá acceder a este conocimiento durante la enseñanza y percatarse de los obstáculos que dificultan la comprensión conceptual de los estudiantes (Käpylä, Heikkinen & Asunta, 2009; Nilsson, 2008). Dicho de otro modo, sin un CC adecuado es difícil que un profesor pueda ejercer bien su trabajo, independientemente de su conocimiento pedagógico general.

Sin embargo, desde hace años se viene señalando la insuficiencia del CC y del conocimiento psicopedagógico para explicar las estrategias que los docentes terminan por utilizar en las aulas. Además, diversos autores sugieren una correlación pequeña de los dos elementos anteriores con la detección de concepciones alternativas de los escolares, el conocimiento sobre los conceptos o problemas «estructurantes» de las ciencias (Gagliardi, 1986) o el diseño de actividades de enseñanza específicas para un tema (Friedrichsen, 2015; Gess-Newsome & Lederman, 1995; Käpylä et al., 2009; Van Driel, De Jong & Verloop, 2002).

Por todo ello, parece que se echa en falta algún otro componente que justifique el conocimiento necesario para promover el aprendizaje significativo de los estudiantes, pero es aquí cuando entra en juego el *Conocimiento Didáctico del Contenido* (CDC), un constructo inicialmente desarrollado por Shulman (1986, 1987). Este conocimiento, que será objeto de los siguientes apartados, se refiere a una entidad particular más poderosa que la suma del conocimiento psicopedagógico y del CC (Nilsson, 2008), y que requiere de un trabajo específico por parte de los formadores de docentes (García-Barros, 2016; Van Driel & Berry, 2012). Además, el CDC se considera un marco de gran utilidad para promover un desarrollo profesional satisfactorio, desde el momento de la formación inicial (Abell, 2008; Garritz, 2013; Hume & Berry, 2011; Melo, Cañada, Mellado & Buitrago, 2016; Schneider, 2015).

2.2.2. El CDC como conocimiento distintivo del profesorado

Inicialmente, Shulman (1986, 1987) define el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC, o Pedagogical Content Knowledge/PCK) como la forma de representar el conocimiento de la disciplina para que el alumnado lo comprenda, característica que transforma gradualmente a un profesor «conocedor de la materia» en un «maestro de la materia» (Clermont, Borko & Krajcik, 1994; Mulholland & Wallace, 2005). Esta idea complementa otra noción introducida previamente por Chevallard (1985), la *transposición didáctica*, referida a la función que realiza el profesor al transformar un «objeto de saber experto» – la Ciencia – en «objeto de saber a enseñar» – la Ciencia Escolar – (Joshua & Dupin, 1993). De este modo, el CDC debe surgir de la interacción del conocimiento sobre las materias a enseñar con otros característicos de la pedagogía y, principalmente, de las didácticas específicas, ya que cada disciplina presenta una dimensión didáctica fuertemente vinculada a su contenido (Acevedo, 2009).

En primer lugar, Shulman (1986) distingue dos componentes fundamentales del CDC, que son 1) el conocimiento para la enseñanza de temas específicos y 2) el correspondiente a cómo se produce el aprendizaje del alumnado, elementos descritos de la forma siguiente:

[...] las formas más útiles de representación de las ideas, los ejemplos, analogías, ilustraciones, demostraciones más eficaces [...] las formas de representar y formular el

tema que lo hacen comprensible a los otros [...] además de la comprensión de lo que hace fácil o difícil el aprendizaje de un tema concreto: las concepciones e ideas previas de los estudiantes de diferentes edades... (Shulman, 1986, p. 9)

Además, Shulman (1986, 1987) hace hincapié en la necesaria interacción entre estos dos componentes. Así, el conocimiento de las ideas previas del alumnado sobre una temática (Driver, 1988; Viennot, 1979) promueve el diseño de actividades relevantes y motivadoras, e igualmente, una reflexión docente sobre los “conceptos centrales” de un tema y su conexión con aspectos o propiedades cotidianas favorece la acomodación de nuevas ideas por parte de los estudiantes. Para ello, la contextualización de la temática en problemas reales (que pueden llegar a suscitar controversias) resulta fundamental, y es un aspecto firmemente reivindicado en la actualidad (Blanco, España & Rodríguez-Mora, 2012; Ratcliffe & Millar, 2009).

En años posteriores, Grossman (1990) concluye que además de los dos componentes anteriores, el CDC también implica un conocimiento adecuado del currículo –como documento marco que regula los aprendizajes en los distintos niveles educativos– y del contexto de enseñanza-aprendizaje. Además, esta autora apunta que la potencialidad del Conocimiento Didáctico del Contenido reside en la integración de todos estos componentes, indicando que el CDC debe entenderse de manera holística (Acevedo, 2009; Gess-Newsome, 2015). Tiempo después –y a partir del trabajo previo de Grossman– Magnusson, Krajcik y Borko (1999) proponen cinco componentes del CDC, en términos de conocimientos y creencias sobre:

1. Estrategias de enseñanza
2. Comprensión de la ciencia por parte de los estudiantes
3. Los currículos científicos
4. Evaluación del aprendizaje científico
5. Orientaciones hacia la enseñanza de las ciencias

En su trabajo, Magnusson et al. (1999) relacionan el quinto aspecto del listado –orientaciones hacia la enseñanza de las ciencias– con un aspecto de gran trascendencia en la práctica de aula y en la investigación educativa: las *creencias profesionales*. Estos autores proponen que las creencias modelan la interacción entre los componentes del CDC, actuando como referentes en las tomas de decisiones docentes (Pajares, 1992). Por ello, conceden un rol diferenciado a este componente del CDC, debido a su naturaleza más general y a su capacidad para influir en la percepción sobre el aprendizaje, los contenidos, las estrategias didácticas o la evaluación de la enseñanza (Friedrichsen, Van Driel & Abell, 2011; Rivero, Martín del Pozo, Solís, Azcárate & Porlán, 2017).⁷

Por su relevancia, las creencias y los modelos didácticos conformarán un apartado independiente de la tesis. Sin embargo, en relación con ello conviene introducir un sexto

⁷ Para clarificar el componente de «orientaciones hacia la enseñanza de las ciencias», Friedrichsen et al. (2011) sugieren las siguientes dimensiones a partir de un meta-análisis: *i)* fines de la enseñanza de las ciencias, *ii)* visión sobre la ciencia y *iii)* creencias sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

componente afectivo-emocional del CDC, la *autoeficacia*, propuesta por autores como Appleton (2006) o Park y Oliver (2008) a partir de varios estudios empíricos. Estos autores, apoyándose en la teoría socio-cognitiva de Bandura (1986), señalan la necesidad de considerar la «autoeficacia» para terminar de modelizar el CDC de un conjunto de profesores en ejercicio. Ello significa que los profesores, al margen de sus creencias o conocimiento epistemológico y curricular, terminan proponiendo metodologías y actividades con las que disfrutan y se sienten cómodos (Garritz, 2010; Padilla & Van Driel, 2012; Pajares, 1992).⁸ Estos hechos se describen adecuadamente en un modelo reciente propuesto por Chen, Morris y Mansour (2015) a partir de un proceso de meta-análisis, modelo que refleja el efecto interrelacionado de los componentes 5 y 6 del CDC (Figura 2.2).

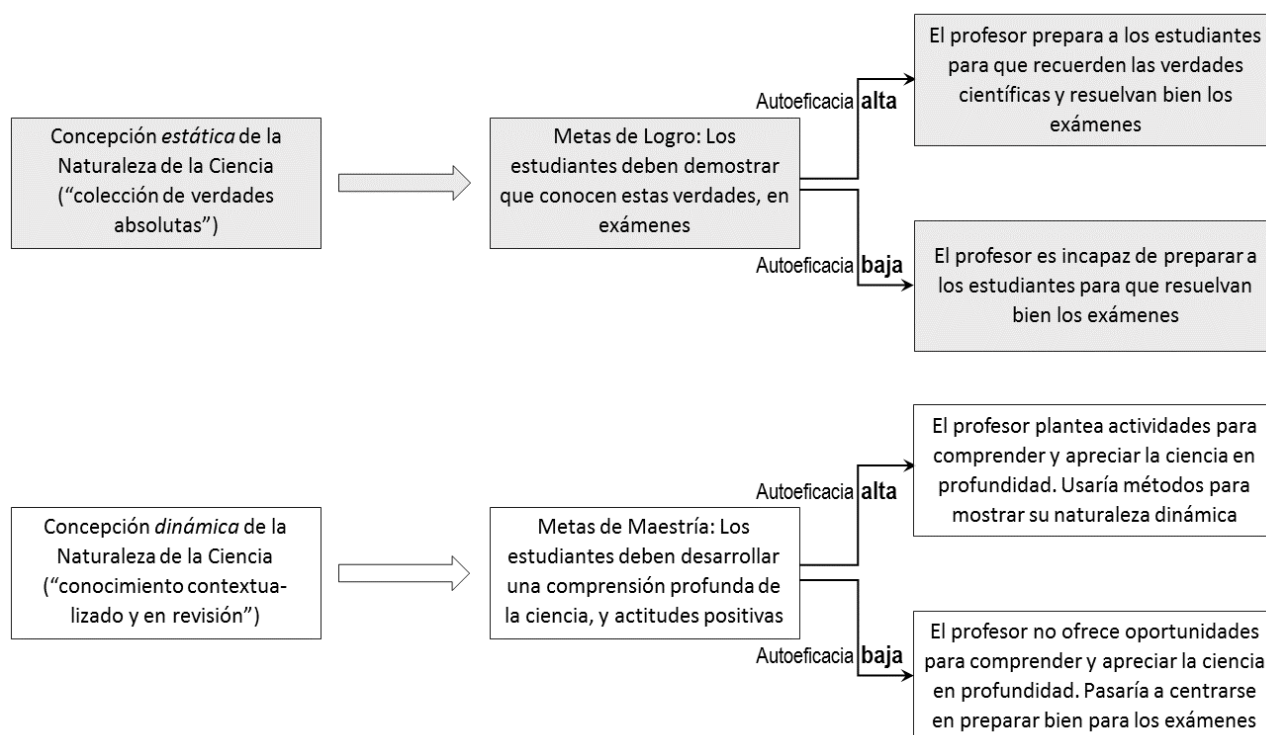


Figura 2.2. Modelo de relación entre las creencias epistemológicas, la autoeficacia y la práctica docente. Traducido de Chen et al. (2015)

Para interrelacionar y enriquecer los seis componentes presentados del CDC, resulta necesario desarrollar una *actitud reflexiva* en la formación y práctica profesional del profesorado (Akerson, Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Korthagen & Kessels, 1999; Pontes, Poyato & Oliva, 2015; Vázquez-Bernal, Jiménez-Pérez & Mellado, 2007a). Con este fin, desde los programas formativos conviene promover una visión del docente como

⁸ En una línea similar, autores como Kind (2009), Garritz (2010) o Padilla y Van Driel (2012) defienden que «el conocimiento y las creencias sobre el dominio emocional» debería considerarse como un componente específico del CDC de un profesor.

investigador sobre su propia práctica (Marcelo, 1989; Rivero et al., 2017), que debe desarrollar capacidades analíticas para construir conocimiento profesional –en especial, CDC– orientado al aprendizaje de los escolares.

El desarrollo de la *metacognición* por parte del docente resulta fundamental (Gunstone & Northfield, 1994; Perrenoud, 2001) y debe permitir la conexión entre las «rutinas» y otras «propuestas alternativas» que pudieran producir un crecimiento profesional (Hashweh, 2003). Por tanto, en todas las etapas formativas y profesionales, conviene vincular la práctica docente con cuestiones sobre el CDC que demanden la justificación del porqué se adopta una u otra decisión (Hume & Berry, 2011; Williams & Lockley, 2012):

- ¿Por qué es importante el aprendizaje de una idea, destreza o actitud?
- ¿Qué aspectos específicos se pretenden enseñar sobre una temática?
- ¿Qué metodología es adecuada para lograr estos fines?
- ¿Qué ideas previas puede presentar el alumnado y cómo afectan a la elección de la metodología?
- ¿Qué tipo de evaluación puede utilizarse para regular el proceso de enseñanza-aprendizaje?
- ¿Coincide la propuesta metodológica asumida o implementada («modelo posible») con aquella identificada como propuesta o «modelo ideal»?

Para reflejar lo anterior, desde hace tiempo se utilizan los términos «reflexión en la acción» y «reflexión sobre la acción» (Munby, 1989; Schön, 1983), que inciden en la activación de los conocimientos sobre el CDC en momentos determinados de la práctica –para adaptarse a los procesos de aprendizaje de los estudiantes– y en la reflexión posterior a ésta –para reorganizar y mejorar algunos aspectos de la enseñanza–.

Presentados los componentes fundamentales del Conocimiento Didáctico del Contenido, se considera oportuno introducir su «*modelo hexagonal*», propuesto por Park y Oliver (2008). Este modelo, mostrado en la Figura 2.3, describe el CDC como un holístico que integra los elementos explicados hasta el momento, y que presenta una naturaleza dinámica como consecuencia de la reflexión.

El «modelo hexagonal», como cualquier *modelo*, permite interpretar la realidad en un campo de aplicación limitado (Oliva & Aragón, 2009). Así, la Figura 2.3 da buena cuenta de aquellos componentes que configuran el CDC –como conocimiento característico del profesorado– y refleja que en su construcción, la interacción entre todos ellos por medio de la reflexión juega un papel determinante. Sin embargo, fuera de su *rango de validez* tendríamos diversas características: el grado hasta el cual el CDC sería extrapolable a distintos profesores que ejercen la docencia en contextos diferentes (Garritz, 2015; Park & Suh, 2015), la descripción de los aspectos que afectan a la evolución del CDC en un sentido u otro (Gess-Newsome, 2015; Kind, 2015), etc.⁹ Estas y otras características se

⁹ Inicialmente, el centro de la investigación consiste en extraer los componentes fundamentales del CDC a través de la práctica y reflexión de «profesores expertos». En años posteriores, la investigación se amplía y comienza a analizarse el proceso constructivo del CDC desde la formación inicial.

abordan en el siguiente apartado, que tiene como meta principal justificar la potencialidad del CDC en la formación inicial del profesorado.

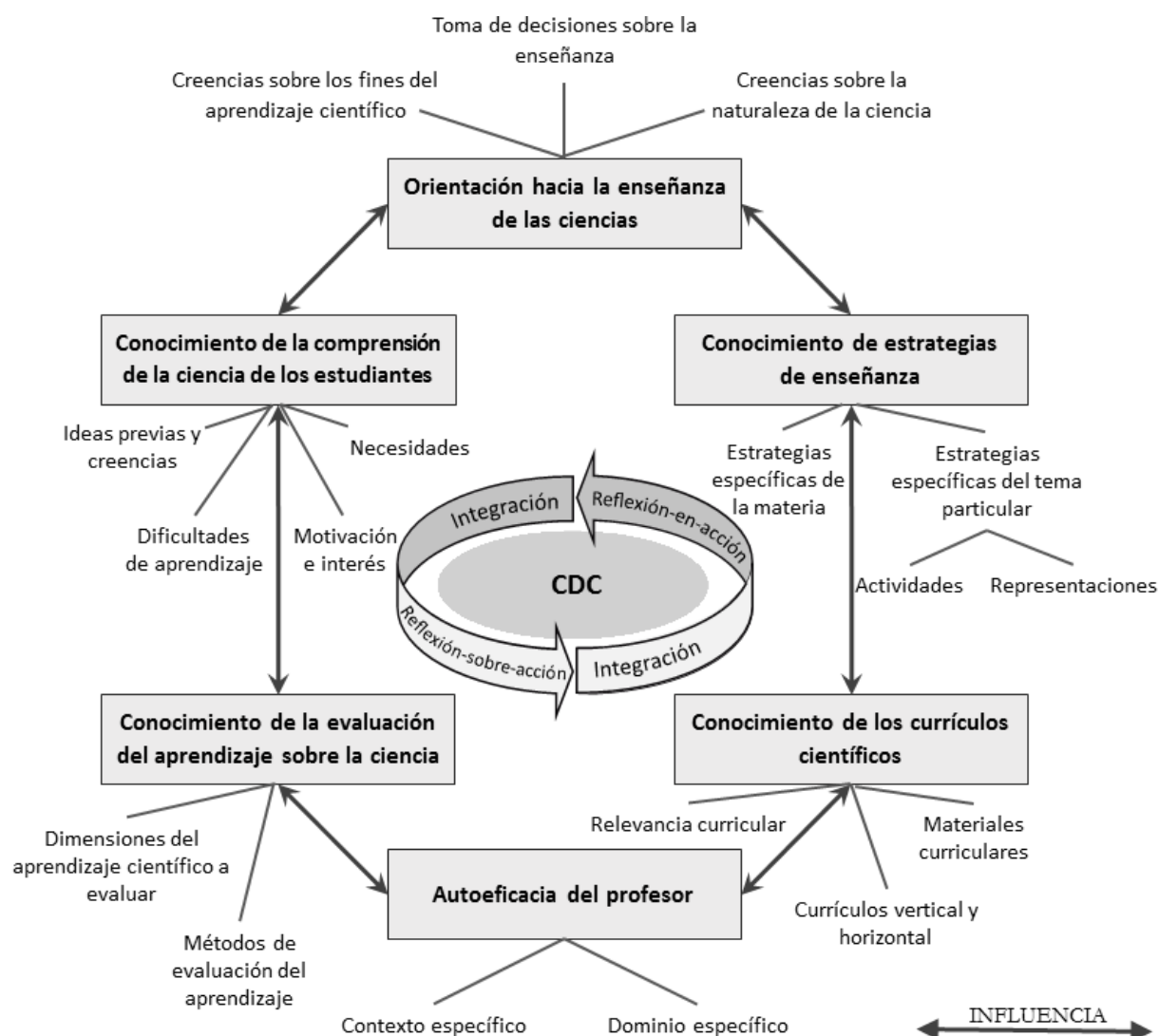


Figura 2.3. Modelo Hexagonal del CDC. Adaptado de Park & Oliver (2008) y Acevedo & García-Carmona (2016)

2.2.3. El CDC como elemento estructural en la formación inicial del profesorado

Siguiendo una línea histórica, en los primeros años el foco principal de la investigación sobre el CDC consiste en identificar las *características* que lo convierten en un conocimiento efectivo para promover el aprendizaje, y en cómo está afectado por las *creencias* epistemológicas y curriculares de los profesores (Marcelo, 1995; Morine-Dersheimer & Kent, 1999; Valbuena, 2007). A su vez, desde finales del siglo pasado se perciben esfuerzos importantes para caracterizar el modo en que el CDC se forma y evoluciona –su naturaleza *dinámica*– (Gess-Newsome, 1999; Mellado, 1998) y desarrollar herramientas

que *expliciten* el CDC utilizado por los profesores en su planificación y práctica docente (Alonzo & Kim, 2016; Aydeniz & Kirbulut, 2014; Loughran, Mulhall, & Berry, 2004).

De este modo, en la actualidad el CDC conforma una línea investigativa muy relevante en el área de la didáctica de las ciencias experimentales. Como en todo campo de investigación, se detectan diversos debates, referidos tanto a la validez de los resultados que se van obteniendo como al significado general del CDC como constructo (Kirschner, Taylor, Rollnick, Borowski & Mavhunga, 2015). Pero en todo caso, el trabajo de las últimas décadas va unido a múltiples consensos sobre las características fundamentales de este conocimiento, puestos en valor en el congreso mundial «PCK Summit» de 2012 (Carlson, Stokes, Helms, Gess-Newsome & Gardner, 2015). A continuación se muestran algunos de los *rasgos consensuados sobre el CDC*:

- El CDC es un conocimiento profesional que muestra una gran *especificidad* en relación a los contenidos específicos en contextos particulares de enseñanza. Carlson y Gess-Newsome (2013) proponen la siguiente definición: «El CDC es producto del razonamiento, la planificación y la acción docente, y se plasma en una forma *particular* de enseñar un tema *particular* por razones o fines *particulares*, para mejorar los logros de aprendizaje de un grupo *particular* de estudiantes» (como se cita en Garritz, 2013, p. 464).
- La construcción del CDC conlleva una parte importante de *reflexión ligada a la práctica docente*. En línea con otras nociones más amplias sobre el *cambio* del profesorado (Mellado, 2003; Porlán et al., 2010), el desarrollo del CDC va ligado a procesos de *indagación-reflexión*. Según Van Driel y Berry (2012) «la formación para contribuir al desarrollo del CDC de los profesores no se puede limitar a exponer ejemplos de buenas prácticas. Los programas formativos [...] además de proporcionar estos ejemplos, deben contemplar oportunidades para poner en práctica ciertas estrategias de enseñanza y reflexionar, de forma individual y colectiva, sobre estas experiencias» (p. 26).
- El CDC presenta un carácter *implícito*, y requiere de herramientas para explicitarlo y usarlo en beneficio del desarrollo profesional. Como señalan Loughran et al. (2004), «la idea del CDC es compleja [...] los profesores de ciencias no utilizan un lenguaje que incluya expresamente el CDC (o que se asemeje a él), y gran parte de su conocimiento sobre la práctica es tácito» (p. 373).
- El desarrollo del CDC es un proceso *social* y *afectivo*, donde la interacción entre los sujetos juega un papel fundamental. En un paralelismo con el aprendizaje escolar (Olitsky & Milne, 2012; Pintrich, Marx & Boyle, 1993), las emociones del profesor derivadas de la respuesta del alumnado a sus actividades resultan muy relevantes en la construcción del CDC. Este aspecto, “el conocimiento y las creencias sobre el dominio emocional”, ha sido propuesto como un componente adicional del constructo vinculado al CDC (Garritz, 2010).

- La naturaleza del CDC es *activa y dinámica*. Es un conocimiento orientado a la acción, ya que su meta principal es su puesta en juego en la práctica de aula (Alonzo & Kim, 2016; Mellado, 1998), y como tal, al adoptar una actitud reflexiva un profesor construye CDC de forma progresiva: en la formación inicial, en su práctica docente y en las oportunidades de desarrollo profesional donde participe (Abell, 2008; Porlán et al., 2010).
- El CDC involucra distintos tipos de conocimiento (ver Figura 2.3), pero todos ellos se aplican de forma *integrada*, holística, en la práctica docente y en su planificación (Suh & Park, 2017). Como indican Acevedo y García-Carmona (2016), «para que se produzca una enseñanza eficaz, los profesores deben aprender a integrar estos componentes [por medio de la reflexión] en un contexto determinado» (p. 12). A su vez, el desarrollo del CDC implica la *transformación* de estas otras dimensiones (conocimiento del contenido, del contexto, pedagógico, etc.) en un nuevo «conocimiento para la enseñanza», mucho más valioso que sus partes constituyentes (Nilsson, 2008). En este sentido, Kind (2015) utiliza la analogía de un “compuesto químico” –inseparable en sus elementos mediante procesos físicos– para referirse al carácter singular del CDC. Así, la visión actual asume una naturaleza doble del CDC, que *integra* sus constituyentes de forma global y los *transforma* en una nueva entidad vinculada a la enseñanza (Gess-Newsome, 2015).¹⁰

Tras presentar los rasgos consensuados sobre este conocimiento, cabe destacar que de forma mayoritaria se asume que *la construcción del CDC comienza en la formación inicial*, y que por ello resulta un conocimiento útil para estructurar los programas formativos (Bertram, 2014; De Jong, Van Driel & Verloop, 2005; Hume & Berry, 2011; Loughran, Mulhall & Berry, 2008). De este modo, para favorecer el desarrollo del CDC desde la formación inicial conviene:

1. Ofrecer un *contexto formativo* de tipo investigativo y colaborativo (Marcelo, 1995; Rivero et al., 2017; Zembal-Saul, Blumenfeld & Krajcik, 2000), fuertemente vinculado a las competencias requeridas en la práctica (Jiménez-Tenorio & Oliva, 2016b; Martínez-Aznar et al., 2013; Van Driel & Berry, 2012) y coherente desde el punto de vista metodológico con las estrategias propugnadas para la Educación Secundaria (Ezquerro, Burgos & Manso, 2016; Solís, 2005). Además, sería recomendable solicitar la resolución de actividades escolares innovadoras –Problem-Based Learning, modelización, problemáticas CTSA, STEM, etc.–, para favorecer la reflexión sobre las características de este aprendizaje (Akerson & Hanuscin, 2007; Martínez-Chico, Jiménez-Liso & López-Gay, 2015; Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016a).

¹⁰ En el capítulo 7, de discusión global de los resultados, se presenta el conocido como *Modelo de Consenso del CDC* (Gess-Newsome, 2015; Kind, 2015), que justifica muchas de las características expuestas en este apartado y permite reflexionar sobre la pertinencia de la propuesta formativa de la tesis.

2. Proporcionar un *marco reflexivo* que permita explicitar el CDC de los futuros profesores, que se verá afectado por sus creencias, y utilizarlo en su beneficio. Con este fin, existen instrumentos específicos como las «Representaciones del Contenido» –CoRes, Content Representations (Lehane & Bertram, 2016; Loughran et al., 2008)–, o el diseño de «Unidades Didácticas» (Martínez-Aznar et al., 2013; Sánchez-Blanco, Pro & Valcárcel, 1997), que además constituyen un buen referente para trabajar contenidos escolares diferentes a los ejemplificados en la formación inicial.

Estos dos aspectos, el contexto formativo para promover el desarrollo del CDC, y el marco reflexivo para explicitar el CDC se abordan en los siguientes subapartados.

1) Contexto formativo para promover el desarrollo del CDC en la formación inicial

Como ya se ha comentado, la construcción del CDC va ligada a la reflexión sobre la práctica docente y requiere una actitud activa por parte del profesorado. Por ello, desde hace décadas se viene insistiendo en la ineficacia de las propuestas formativas basadas en la *transmisión* de conocimiento didáctico avalado por la investigación (Holt-Reynolds, 2000; Loughran et al., 2008; Mellado, 2003; Porlán & Rivero, 1998). Este tipo de programas suponen una simplificación de la realidad del docente, que cuenta con creencias curriculares y epistemológicas muy arraigadas debido a su historia escolar, que actúan como “lentes” en la percepción de las propuestas formativas (Bryan, 2003; Lehane & Bertram, 2016). Además, estos programas contradicen el denominado «principio de isomorfismo», originando una tensión muy poco instructiva entre las estrategias defendidas para los niveles escolares y las utilizadas para formar al profesorado (Martín del Pozo, Fernández-Lozano, González-Ballesteros & De-Juanas, 2013).

Por estos motivos, una estrategia recomendada por su coherencia con las características del CDC es la resolución de *problemas prácticos profesionales* (Goodnough & Hung, 2008; Martín del Pozo & Rivero, 2001; Martínez-Aznar, Rodríguez-Arteche & Gómez-Lesarrri, 2017; Zembal-Saul et al., 2000), que permite superar la presentación de tipo “atomista” sobre el conocimiento del área. Este enfoque supone articular la formación inicial en torno a problemas sobre las competencias docentes necesarias, los fines de la enseñanza de las ciencias, la selección de los contenidos, la metodología de enseñanza, su relación con las ideas previas de los alumnos, la evaluación como proceso de mejora, etc. En su resolución, es necesario partir de las creencias y propuestas de los futuros profesores, que deberán ser debatidas en grupos cooperativos y en el grupo-clase al completo (Solbes & Gavidia, 2013). De este modo, como parte del andamiaje inherente al aprendizaje basado en problemas (Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007), los formadores podrán presentar materiales fundamentados en la investigación (Porlán et al., 2011) o aspectos más teóricos sobre el desarrollo de la didáctica de las ciencias (Pontes et al., 2015), en momentos específicos del proceso formativo.

En línea con lo anterior, en los últimos años se reivindica la conveniencia de que los participantes “asuman el rol de sus futuros alumnos” y participen en secuencias de actividades escolares de corte constructivista, como la resolución de situaciones problemáticas (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2015b; Pilitsis & Duncan, 2012; Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016b). Este aspecto responde a la dificultad que puede suponer para el futuro profesorado el cambio hacia un modelo metodológico alternativo –y minoritario– sin haberlo experimentado en primera persona, y sin haber reflexionado sobre las características, beneficios o desafíos que supone este aprendizaje (Campanario & Moya, 1999; Capps & Crawford, 2013; Hashweh, 2003). Además, resulta necesario abordar de forma explícita los nuevos roles del docente y el aprendizaje durante el desarrollo de estas actividades, que en ambos casos demandan una mayor implicación (Crawford, 2000; Hmelo-Silver et al., 2007; Prince & Felder, 2007).

Por otra parte, la *vivencia* en primera persona de propuestas didácticas orientadas a los niveles escolares, y la *observación* del rol de los formadores en este proceso, se justifican atendiendo a un aspecto abordado en el «PCK Summit» de 2012: el CDC canónico o indispensable. La idea de que el CDC es un conocimiento *específico* para cada temática escolar se acepta de forma mayoritaria. Pero una vez centrados en un tema, ¿*todo el CDC* sería a su vez específico para cada profesor y cada contexto de enseñanza-aprendizaje? Si esto fuera así, el impacto de la investigación didáctica, la divulgación de experiencias de enseñanza-aprendizaje, y probablemente de la propia formación del profesorado, serían más bien reducidos. Sin embargo, en este sentido también existe un amplio acuerdo respecto a la distinción entre el «CDC canónico o indispensable» y el «CDC personal o idiosincrático» (Garritz, 2015; Park & Suh, 2015; Smith & Banilower, 2015). Sobre ello, se propone el modelo mostrado en la Figura 2.4.

Al igual que existe un conocimiento del contenido científico de tipo “normativo”, el *CDC canónico* corresponde al conocimiento para la enseñanza avalado por el consenso entre docentes que, de forma intrínseca, deberá ser adaptado a las características personales del profesor y a su contexto (Smith & Banilower, 2015). Esta relación entre ambos tipos de CDC se produce a través de la *reflexión* del profesor sobre los problemas profesionales a los que se enfrente, y podrá ser más o menos intensa (Garritz, 2015; Park & Suh, 2015). Además, de forma complementaria, la puesta en común del CDC personal (en comunidades educativas, congresos, revistas del área, etc.) y su aceptación por grupos amplios de docentes contribuye a la construcción de CDC canónico.

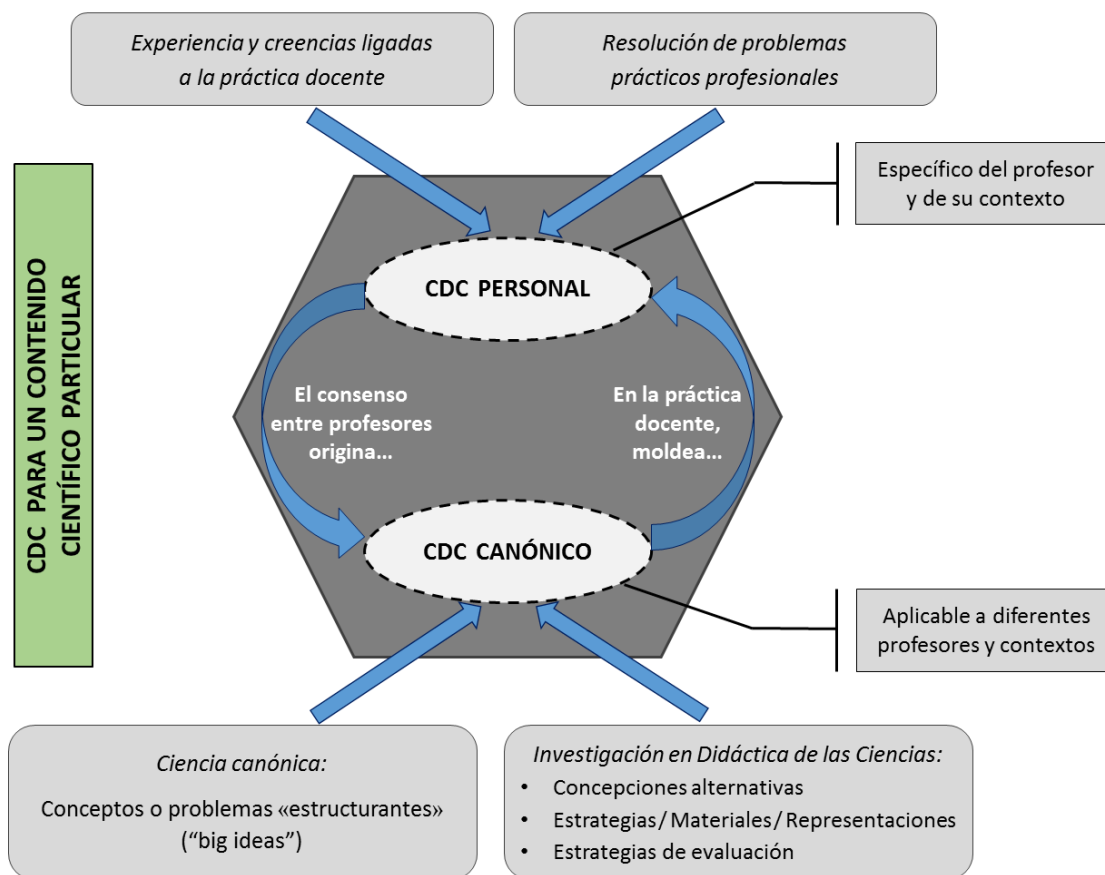


Figura 2.4. Modelo conceptual sobre el CDC canónico y el CDC personal. Reelaborado a partir de Park & Suh (2015) y Smith & Banilower (2015)

De esta forma, la figura sintetiza dos aspectos sobre los que convendría organizar la formación inicial del profesorado:

- La *resolución de problemas profesionales*, que posibilite el desarrollo de competencias útiles para que el profesorado construya conocimiento profesional a partir de su experiencia, e incorpore el conocimiento generado por la investigación didáctica a su contexto particular; y
- La *participación directa en secuencias de aprendizaje* que pudieran considerarse “pertenecientes” a un CDC canónico, para promover la reflexión sobre sus beneficios didácticos y, con ello, facilitar una mayor interacción entre ambos tipos de CDC.

En ambos casos, resulta necesario promover la *reflexión* del profesorado y su vinculación con el CDC, por medio de estrategias metacognitivas (Perrenoud, 2001). Este aspecto corresponde al segundo “requisito” asumido para una formación inicial que favorezca la construcción de CDC.

2) Marco reflexivo para explicitar el CDC de los futuros profesores

Las características ya presentadas sobre el CDC, como su carácter implícito (Korthagen & Kessels, 1999) o la dificultad para explicitarlo a partir de propuestas “genéricas” de enseñanza (Baxter & Lederman, 1999), hacen necesario disponer de herramientas con las que trabajar de forma colaborativa en la formación docente y que, además, permitan que el investigador infiera el conocimiento utilizado por los profesores en ejercicio y en formación (Cooper & Loughran, 2015). Es decir, resulta necesario contar con medios que permitan articular e interrelacionar las distintas dimensiones del pensamiento curricular docente.

En este sentido, además del diseño de *Unidades Didácticas* como entidad básica para planificar e implementar procesos de enseñanza-aprendizaje, la investigación sobre el CDC ha dado lugar a instrumentos específicos de trabajo e investigación: las Representaciones del Contenido –*CoRes*, Content Representations– y los Repertorios de experiencia Didáctica y Profesional –*PaP-eRs*, Pedagogical and Professional experience Repertoires– (Loughran et al., 2004).

- Los *CoRes* son sistemas matriciales (las *columnas* representan “big ideas”) en los que a través de proposiciones los profesores justifican lo que quieren que aprenda el alumnado y el porqué, el pensamiento de los estudiantes y las dificultades vinculadas a la enseñanza, los métodos y actividades a utilizar, etc. (Hume & Berry, 2011; Lehane & Bertram, 2016; Loughran et al., 2008) Así, los elementos de este listado conforman las *filas* del *CoRe*.
- Los *PaP-eRs* representan narraciones¹¹ vinculadas a situaciones de enseñanza-aprendizaje específicas y que, por ello, permiten comprender una pequeña parte del CDC de un profesor. En estas descripciones, se suele relacionar varias de las categorías ya señaladas para los *CoRes*, promoviendo la conexión entre la práctica de aula y su justificación didáctica. Por ello, una vez elaborados los materiales, los *PaP-eRs* resultan instrumentos reflexivos de utilidad para la formación del profesorado (Bertram, 2014; Bertram & Loughran, 2012; Loughran et al., 2008).

Las características básicas de estos instrumentos, muy extendidos en la formación docente y la investigación asociada, se representan en la Tabla 2.5.

¹¹ Las narraciones pueden obtenerse a partir de la selección y transcripción, por parte del investigador, de fragmentos de entrevistas al docente o de su discurso de aula. También pueden ser escritas por el propio profesor. En ambos casos, gran parte del interés reside en su discusión posterior en equipos.

Ideas y Conceptos Importantes sobre la Ciencia (Escolar)			
	"Big Idea 1"	"Big Idea 2"	Etc.
1. ¿Qué pretendes que los alumnos aprendan sobre esta idea?			
2. ¿Por qué es importante que los alumnos lo sepan?			
3. ¿Qué más sabes sobre esta idea (y no pretendes que los alumnos lo sepan todavía)?			
4. Dificultades/limitaciones asociadas a la enseñanza de esta idea			
5. Conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes que afecta a tu enseñanza de esta idea			
6. Otros factores que influyen en tu enseñanza de esta idea			
7. Estrategias de enseñanza (y razones particulares para utilizarlas, en relación al aprendizaje de esta idea)			
8. Formas específicas para determinar o evaluar la comprensión o confusión de los alumnos sobre esta idea (incluye algunas "respuestas probables")			

* Las líneas representan la relación expresa entre las categorías en distintos PaP-eRs (narraciones)

Tabla 2.5. CoRe (Content Representation) y PaP-eRs (Pedagogical and Professional experience Repertoires) asociados.* Traducido de Loughran et al. (2004)

Una vez presentados los CoRes y los PaP-eRs, cabe decir que como forma de trabajo sobre el CDC, es posible llegar a un nivel de concreción superior sobre las propuestas de enseñanza-aprendizaje. Para ello, es habitual recurrir al diseño de Unidades Didácticas (UD) en la formación del profesorado (Gullberg, Kellner, Attorps, Thorén & Tärneberg, 2008; Martínez-Aznar et al., 2013; Solís, Porlán, & Rivero, 2012). Coll (1991) aporta la siguiente definición sobre *Unidad Didáctica*:

[...] *unidad de trabajo* relativa a un proceso de enseñanza-aprendizaje, que no tiene una duración fija pero precisa de unos objetivos, unos bloques elementales de contenido, unas actividades de aprendizaje y unas actividades de evaluación. (como se cita en Corrales, 2010, p. 4)

En esta definición, que pone en valor el carácter global e interrelacionado de los componentes de una UD, la noción de *evaluación* presenta connotaciones de tipo «tradicional» al distinguir las actividades correspondientes a este proceso de las utilizadas en la secuencia de enseñanza-aprendizaje. Por ello, en la actualidad es más habitual el uso de definiciones de carácter más general sobre las UD, como:

[...] un instrumento de trabajo de carácter unitario que permite al profesor desempeñar su práctica educativa de forma articulada y completa, y desarrollar unos procesos de enseñanza-aprendizaje de calidad, ajustados al grupo y al alumno. (Corrales, 2010, p. 3)

Volviendo al tema de la formación docente, cabe decir que para favorecer la interrelación entre los componentes del CDC y su desarrollo global, es necesario recurrir a estructuras holísticas de UD que permitan dar un paso más allá del conocimiento del contenido, y promuevan la reflexión sobre la utilidad y la comprensión de los estudiantes sobre estas ideas (Cooper & Loughran, 2015). Para ello, se requiere que los modelos de UD tengan referentes teóricos/didácticos asentados (Lijnse & Klaassen, 2004).

En la propuesta formativa vinculada a esta tesis doctoral, se utiliza el «Modelo para la Elaboración de Unidades Didácticas» de Martínez-Aznar et al. (2013), que a su vez se inspira en propuestas previas como la de Sánchez & Valcárcel (1993). Sus etapas, mostradas en la Tabla 2.6, se vinculan a los componentes del CDC propuestos por Magnusson et al. (1999). Además, la forma en que se plantea la selección de contenidos, en base a competencias específicas interrelacionadas (*“el estudiante debe... saber que/ser capaz de/implicarse en”*), presenta una cierta similitud con instrumentos como los CoRes.

Como se describe en los siguientes capítulos, en nuestra propuesta formativa los estudiantes del Máster de Secundaria deben diseñar sus propias UD, a partir de un proceso de investigación donde se presentan ejemplificaciones didácticas de carácter constructivista. En dicho proceso, resulta necesario partir de las *creencias* de los participantes, de forma análoga a las estrategias propugnadas para la Educación Secundaria (Martín del Pozo & Rivero, 2001). Además, estas creencias conforman uno de los componentes fundamentales del CDC (Friedrichsen et al., 2011; Magnusson et al., 1999) y, por ello, su análisis es objeto del siguiente apartado.

Modelo para el Diseño de UD (Sánchez-Blanco & Valcárcel, 1993)	Modelo para la Elaboración de UD (Martínez-Aznar et al., 2013)
	1. Análisis del Contexto <ul style="list-style-type: none"> • Características del centro • Profesorado y experiencia docente • El currículo escolar <i>Resumen de acciones</i>
I. Análisis Científico (AC) <ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar contenidos • Definir esquema conceptual • Delimitar procedimientos y actitudes científicas 	2. Análisis Didáctico <ul style="list-style-type: none"> • Características del alumnado. Concepciones alternativas • Selección de contenidos • Relación entre los contenidos <i>Resumen de acciones</i>
II. Análisis Didáctico (AD) <ul style="list-style-type: none"> • Averiguar ideas previas de los alumnos • Considerar exigencias cognitivas de los contenidos • Delimitar implicaciones para la enseñanza 	
III. Selección de Objetivos <ul style="list-style-type: none"> • Considerar conjuntamente AC y AD • Delimitar prioridades y jerarquizarlas 	
IV. Selección de Estrategias Didácticas <ul style="list-style-type: none"> • Considerar estrategias metodológicas • Diseñar la secuencia de enseñanza global • Seleccionar/elaborar actividades y materiales de aprendizaje 	3. Estrategias Didácticas <ul style="list-style-type: none"> • Presupuestos metodológicos • Diseño y secuencia de actividades <i>Resumen de acciones</i>
V. Selección de Estrategias de Evaluación <ul style="list-style-type: none"> • Delimitar contenido de la evaluación • Determinar actividades y momentos de evaluación • Diseñar instrumentos para recabar la información 	4. Evaluación <ul style="list-style-type: none"> • Criterios • Evaluar en el marco de las competencias <i>Resumen de acciones</i>
	5. Recursos Didácticos

Tabla 2.6. Modelos de Unidades Didácticas de Sánchez-Blanco & Valcárcel (1993) y Martínez-Aznar et al. (2013)

2.2.4. Las creencias profesionales: un componente fundamental del CDC

Las creencias o concepciones de los docentes sobre los fines de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, su naturaleza y las ideas vinculadas al conocimiento escolar, las estrategias didácticas o la evaluación conforman un elemento central del CDC, que determina la forma en que se integran sus componentes (Friedrichsen et al., 2011; Van Driel, Bulte & Verloop, 2007).

Además, con la mediación de las destrezas prácticas de aula (Lederman, 1992; Mellado, 2001) y la autoeficacia (Chen et al., 2015), estas creencias terminan trasladándose al alumnado, que gradualmente las va asumiendo como «naturales» (Fernández-Nistal, Pérez-Ibarra, Peña & Mercado, 2011; Pozo, Scheuer, Mateos & Pérez-Echeverría, 2006;) y, por ende, afectan a sus logros de aprendizaje (Bryan, 2012; Richardson, 2003).

Para hacer referencia al *pensamiento profesional* de los docentes se han utilizado distintos términos (Levin, 2015; Poyato, 2016): ideas previas, creencias, concepciones, teorías implícitas, conocimiento práctico personal, teorías prácticas, etc. En algunos casos, la diferencia terminológica se debe a la fuente racional o experiencial, y al carácter más o menos implícito de este conocimiento (Porlán & Rivero, 1998), y en otros, a su amplitud y organización como constructo, o al modo en que pueden identificarse (Poyato, 2016).

En esta investigación, se utiliza el término de «creencias», que es probablemente uno de los más utilizados en la literatura. De este modo, las *creencias* se consideran construcciones psicológicas compuestas por ideas, imágenes o comprensiones asumidas como “verdaderas” (Fernández-Nistal et al., 2011), que dirigen las acciones *vinculadas a la práctica* y median en la interpretación de nuevas situaciones (Pajares, 1992; Van Driel et al., 2007).

En relación a su *origen*, las creencias profesionales:

- Se adquieren de forma no consciente, *implícita*, como efecto de la participación reiterada en situaciones de aprendizaje “organizadas”, donde se repiten determinados patrones que justifican la estabilidad de estas concepciones intuitivas (Patrick & Pintrich, 2001).
- Son resultado de la *experiencia personal* en escenarios de aprendizaje variados y, por ello, no suelen ser fáciles de compartir o de comunicar, pues es probable que estén representadas en códigos no formalizados (Levin & He, 2008; Richardson, 2003).
- Son producto de un *aprendizaje informal*, pues aunque se desarrollan en contextos de enseñanza-aprendizaje –a menudo en la educación formal–, no son fruto de una instrucción explícita. Así, las creencias podrían considerarse parte de un «currículo oculto», a menudo compartido entre docentes pero casi nunca explicitado (Pozo et al., 2006), que responde a lo que los profesores hacen con frecuencia pero no dicen.

Con respecto a su *función y naturaleza*, las creencias profesionales:

- Tienen una *función práctica* –procurar el éxito y evitar los problemas– y permiten “esquivar” la reflexión sobre las situaciones vinculadas a la práctica docente (Bell & Gilbert, 1994).
- Se *activan* de manera relativamente *automática*, un rasgo útil para asegurar respuestas rápidas y mecánicas sin apenas consumir recursos cognitivos, pero insuficiente para comprender y controlar nuevos entornos de enseñanza-aprendizaje (Fives & Buehl, 2012).
- Presentan una *naturaleza situada*, que explica que en los correspondientes *contextos* escolares aparentemente sean más “eficaces” que otros tipos de conocimiento más canónico (Levin, He & Allen, 2013). Sin embargo, este hecho también constituye una de sus mayores limitaciones, ya que son difíciles de adaptar o transferir a nuevas situaciones (Pozo et al., 2006); más bien, sirven para contextos repetitivos y rutinarios.
- Se relacionan con experiencias personales, con un contenido emocional asociado, por lo que su *naturaleza* podría entenderse como «*encarnada*» (Pozo et al., 2006). Así, estas representaciones tienden a considerar un realismo ingenuo (en el sentido de asociarse a las “ideas verdaderas”) que hace que, *p.ej.*, las concepciones constructivistas sobre la enseñanza-aprendizaje resulten contraituitivas y difíciles de asumir (Richardson, 2003).

Un aspecto que, de forma natural, sigue a la discusión anterior es el de la posibilidad del *cambio en las creencias*. Debido a las características expuestas –su utilidad práctica, su naturaleza implícita y arraigada en los sujetos, etc.–, cabe decir que este cambio no es, ni mucho menos, sencillo (Kagan, 1992; Putnam & Borko, 1997; Wideen, Mayer-Smith & Moon, 1998), sino gradual, continuo, de ritmo pausado y a menudo acompañado de «retrocesos» (Bell & Gilbert, 1994; Pilitsis & Duncan, 2012; Porlán et al., 2011; Tal, Dori, Keiny & Zoller, 2001).

Para permitir una evolución efectiva en el pensamiento docente, resulta necesario explicitar las creencias personales,¹² e integrar y coordinar –al menos de forma parcial– los dos sistemas de representación de las ideas sobre la profesión: el *nivel práctico o en acción* y el *nivel explícito o declarativo* (Pozo et al., 2006; Richardson, 2003).

Además, al igual que lo apuntado para el CDC, el “diálogo” entre las concepciones identificadas como deseables en la investigación (vinculadas al constructivismo didáctico) y las creencias personales sobre la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, resulta un proceso fundamental en la formación y el desarrollo profesional.

¹² Debido al “arraigo” de las creencias en las experiencias personales, su traducción en un *conocimiento declarativo* implica un cierto desajuste con el *saber práctico*. Este último tiende a ser más “conservador” que la reflexión explícita (Pozo et al., 2006; Solís et al., 2012).

A partir de una analogía con la filosofía de la ciencia, Mellado (2001, 2003) propone tres tipos de propuestas o modelos sobre los que formar a los docentes que, de menor a mayor grado de coherencia con las ideas descritas sobre las creencias, son:

- *Propuestas positivistas o falsacionistas.* En el primer caso, se asume que al recibir indicaciones de expertos en el área sobre “la mejor forma de enseñar”, o al observar ejemplos de buenas prácticas, el profesor no va a tener problema en hacerlas propias y cambiar sus estrategias. En el segundo, se considera necesario provocar una insatisfacción sobre las concepciones personales, para refutarlas y conseguir una evolución profesional. Sin embargo, desde antiguo se ha sugerido que, *por sí sola*, la insatisfacción no origina un cambio en el pensamiento docente y que, más bien, puede dar lugar a la frustración e insatisfacción hacia la profesión (Gil-Pérez, 1993b).
- *Propuestas de cambio conceptual por sustitución.* En este caso, además de provocar la insatisfacción sobre las creencias de los participantes, se considera necesario promover la percepción de *utilidad y plausibilidad* de las nuevas estrategias, para dar lugar a un cambio en el pensamiento (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982). Mellado (2003) propone como analogías a estas propuestas el «cambio de paradigma» de Kuhn (1971), donde para que se produzca un cambio global (o revolucionario) deben intervenir ciertas variables personales y sociales, o los «programas de investigación» de Lakatos (1983), donde por medio de la reflexión se originan debates entre las ventajas/desventajas de las concepciones nuevas y viejas, dando lugar a cambios y a núcleos de pensamiento resistentes al cambio.
- *Propuestas de cambio gradual por desarrollo interno.* Estos últimos programas, más próximos al conocimiento actual sobre el cambio en las creencias, asumen la dificultad de provocar un cambio estable y radical en las mismas (Tal et al., 2001; Valcárcel & Sánchez-Blanco, 2000). En cambio, consideran que de forma gradual, los profesores van apropiándose de nuevas estrategias y construyendo nuevas concepciones no siempre coherentes, cuyo “éxito” determina la permanencia en su práctica docente. En este caso, se proponen como análogos las «tradiciones de investigación» de Laudan (1986), basadas en la resolución de problemas como motor del cambio, o el evolucionismo de Toulmin (1977), que justifica el desarrollo progresivo y a veces contradictorio de las nuevas creencias, a raíz de las demandas del contexto y promovidas por la metacognición (Perrenoud, 2001).

En relación a la última categoría, diversos autores han realizado propuestas de formación docente inicial (Martínez-Aznar et al., 2017; Porlán et al., 2010, 2011) y permanente (Furió & Carnicer, 2002; Vázquez-Bernal et al., 2007a), considerando secuencias de actividades que parten de las creencias y la práctica espontánea y, paulatinamente, promueven la investigación sobre actividades escolares innovadoras (Valcárcel & Sánchez-Blanco, 2000). En ellas, se asumen *tres perspectivas o aspectos interrelacionados* sobre la formación y evolución profesional (Pontes et al., 2015; Porlán et al., 1997; Vázquez-Bernal et al., 2007a):

- La «perspectiva constructivista», que tiene en cuenta el papel de las *concepciones personales* sobre el medio escolar, como herramientas de análisis de la práctica y “filtros” ante nuevas propuestas de actuación (Fives, Lacatena & Gerard, 2015; Pajares, 1992).
- La «perspectiva compleja», que asume que las creencias pueden considerarse como un sistema de ideas en evolución, afectado por aspectos *profesionales* – conocimientos, éxito de las nuevas estrategias en la práctica–, *personales* – emociones y autoeficacia del profesor– y sociales –colaboración entre docentes– (Bell & Gilbert, 1994; Vázquez-Bernal, Jiménez-Pérez & Mellado, 2007b).
- La «perspectiva crítica», que entiende la evolución profesional como un proceso no “neutral” donde intervienen los *intereses* de docentes y estudiantes. Además, este desarrollo se dirige progresivamente a metas más amplias, como promover la autonomía, el pensamiento crítico, la cooperación, el respeto a la diversidad, al medioambiente y el activismo por una sociedad más justa (Cachapuz, 2016; Porlán et al., 1997).

A raíz de los distintos aspectos presentados sobre las creencias profesionales (origen, rol práctico, evolución, etc.), surge la necesidad de aportar un marco reflexivo que vincule las concepciones personales con la práctica docente de los sujetos y que, además, sirva como referente en la investigación sobre este campo. Para ello, en este trabajo se asume la potencialidad de los *modelos didácticos*, como herramienta de análisis y actuación reflexiva en la formación y desarrollo profesional de los docentes (Fernández-González & Elortegui, 1996; Joyce & Weil, 1985; Porlán et al., 1997).

En este sentido, Cañal y Porlán (1987) proponen la siguiente definición de «modelo didáctico»:

Una construcción teórico-formal que, basada en supuestos científicos e ideológicos, pretende *interpretar* la realidad escolar y *dirigirla* hacia unos determinados fines educativos. (p. 92)

De forma complementaria, García-Pérez (2000) utiliza los siguientes términos para definir esta noción:

La idea de modelo didáctico permite abordar (de manera simplificada, como cualquier modelo) la complejidad de la realidad escolar, al tiempo que ayuda a proponer procedimientos de intervención en la misma y a fundamentar, por tanto, líneas de investigación educativa y de formación del profesorado [...] el modelo didáctico es un instrumento que facilita el análisis de la realidad escolar con vistas a su transformación. Podemos, así, caracterizar como distintos “tipos” de modelos didácticos tanto la realidad escolar tradicional como las tendencias transformadoras, como, asimismo, los proyectos alternativos en construcción.

En ambos casos, se observa que al tratarse de modelos, estos permiten representar de forma simple –y útil– enfoques de enseñanza más o menos coherentes detectados en

las aulas (Pontes et al., 2015; Pozo & Gómez-Crespo, 1998). Además, los modelos didácticos permiten predecir o planificar cuál sería el modo de actuar –en cuanto a selección de contenidos, metodología didáctica, evaluación, etc.– en función de las tendencias de enseñanza más globales a las que hacen referencia (Fuentes, García-Barros & Martínez-Losada, 2009; Jiménez-Aleixandre, 2000), siendo por ello instrumentos prácticos para el crecimiento profesional.

No obstante, como interpretación o representación selectiva de la realidad, los modelos didácticos tienen un determinado *rango de validez*, fuera del cual suelen ser inexactos (Fernández-González, Elortegui, Rodríguez-García & Moreno-Jiménez, 2001; Solís, 2005). Por tanto, la comprensión de los casos reales suele requerir la utilización simultánea de varios modelos didácticos, pero ello no merma su potencialidad como «puentes» entre la teoría y la práctica docente.

Al igual que en un contexto internacional (Felder & Silverman, 1988; Joyce & Weil, 1985; Osborne & Freyberg, 1991), en España diversos autores han realizado aportaciones para definir estos modelos didácticos. A pesar de las diferencias, en todos los casos se propone un “continuo” desde un modelo de transmisión-recepción, *tradicional* o de siempre hasta un modelo *constructivista*, alternativo o de investigación escolar.¹³ Jiménez-Aleixandre (2000) realiza tres propuestas, los modelos de transmisión-recepción, de descubrimiento y el modelo constructivista de aprendizaje. Por su parte, Porlán, Rivero y Martín del Pozo (1998) distinguen cuatro tendencias, los modelos didácticos tradicional, tecnológico, espontaneísta (o activista) y alternativo (o de investigación escolar). Asimismo, Fernández-González y Elortegui (1996) proponen los modelos transmisor, tecnológico, artesano, descubridor y constructivista. Desde el campo de la psicología, y con el foco principal en el aprendizaje del estudiante, Pozo *et al.* (2006) describen los modelos directo, interpretativo y constructivo.

Comenzando por las «tendencias extremas», los modelos tradicional y constructivista pueden entenderse de la siguiente manera a partir de los trabajos ya citados (posteriormente se detallan en las Figuras 2.7 y 2.8):

- Según el *modelo tradicional*, el profesor debe *transmitir* verbalmente los contenidos incluidos en el currículo, aportando ejemplos ilustrativos y siguiendo un esquema parecido al que ha vivido en su formación previa. El aprendizaje se produce por asimilación y memorización del conocimiento (tal cual lo ha expresado el profesor), lo que supone, junto con “mantener el orden”, el cometido principal del alumnado. Los recursos mediadores en las relaciones del aula son el libro de texto y los apuntes claros. El tipo de actividades propuestas se vinculan a los contenidos concep-

¹³ Una diferencia entre estos planteamientos corresponde a la inclusión o no del modelo de descubrimiento. Hoy en día, esta tendencia es minoritaria, por las críticas asociadas a la falta de atención a los contenidos o al papel docente secundario en el desarrollo de las clases (Hattie, 2009; Hmelo-Silver et al., 2007). Sin embargo, como defienden Gil-Pérez (1993b) o Jiménez-Aleixandre (2000), conviene poner en valor su contribución histórica para dinamizar una enseñanza basada en la transmisión verbal.

tuales explicados, e incluyen la resolución algorítmica de «ejercicios» con enunciado cerrado. Se asume que el orden y la claridad al exponer los contenidos, junto con la atención y el estudio de los alumnos, dan lugar a resultados satisfactorios. La visión sobre la ciencia corresponde a un absolutismo epistemológico que considera este conocimiento como objetivo, verdadero y superior.

- Según el *modelo constructivista*, el profesor ejerce de *guía* en el proceso de construcción del conocimiento por parte del estudiante. Debe planificar *actividades*, coherentes con el currículo, que permitan que el alumnado explicita y evalúe sus ideas previas sobre los conceptos. Para ello se recurre a la “resolución de problemas” con un cierto grado de apertura y que, a menudo, engloban una parte experimental. La comunicación en el aula entre el docente y los alumnos –que trabajan en equipos– es multidireccional; el profesor coordina el funcionamiento de la clase, dirige los eventos de aprendizaje y los modifica por interacción con los estudiantes. En este enfoque, la visión sobre la ciencia se sitúa entre el evolucionismo y el relativismo moderado, esto es, se asume que más por acumulación, la ciencia evoluciona por reestructuración, afectada por variables tecnológicas, sociológicas y éticas, al tratarse de una actividad humana.

A pesar de que el número de profesores que ejercen su práctica de acuerdo a un *modelo constructivista* puede considerarse escaso (Blanchard, Southerland & Granger, 2009; Capps & Crawford, 2013; Fernández-González et al., 2001; Porlán et al., 1998), debido a su coherencia con los planteamientos psicodidácticos actuales existe un amplio acuerdo sobre sus ventajas para promover un aprendizaje significativo, en términos conceptuales, procedimentales y actitudinales (Gil-Pérez et al., 2002; Hmelo-Silver et al., 2007; Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005; Pozo et al., 2006; Rocard et al., 2007).

Además, frente a una posible percepción de “idealismo” o de “enfoque rígido”, distintos autores (*p.ej.*, Campanario & Moya, 1999; Couso, 2014; Jiménez-Tenorio & Oliva, 2016a; Prince & Felder, 2007) ponen en valor las distintas variantes metodológicas de este modelo, es decir, su adaptabilidad según sean los intereses de alumnos y profesores, o la propia temática trabajada. Así, surgen enfoques perfectamente combinables como la investigación dirigida en torno a problemas (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2017; Gil-Pérez, 1993b; Martínez-Aznar & Varela, 2009) o los programas de actividades para promover el cambio conceptual (Aliberas, Izquierdo & Gutiérrez, 2013; Gómez-Crespo, Pozo & Gutiérrez-Julián, 2004; Osborne & Freyberg, 1991). Igualmente, ambas propuestas son compatibles con una contextualización en problemáticas de tipo CTSA –ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente– o STEM –science, technology, engineering and mathematics– (Galagovsky, 2004; Solbes & Vilches, 1997; Wang et al., 2011), como refuerzo del cambio actitudinal, o con el trabajo expreso sobre destrezas de modelización (Hernández, Couso & Pintó, 2015; Sanmartí, 2002; Windschitl et al., 2008), un elemento fundamental de la actividad científica.

Volviendo al marco general de los modelos didácticos personales, ¿qué se podría decir de su *evolución* a partir de un enfoque de enseñanza «tradicional» en el que gran parte de los profesores, en ejercicio y en formación, han sido instruidos? En relación con esta cuestión, Martín del Pozo y Rivero (2001) proponen una «hipótesis de progresión profesional sobre la enseñanza-aprendizaje de las ciencias», representada esquemáticamente en la Figura 2.5 a partir del trabajo de Solís (2005).

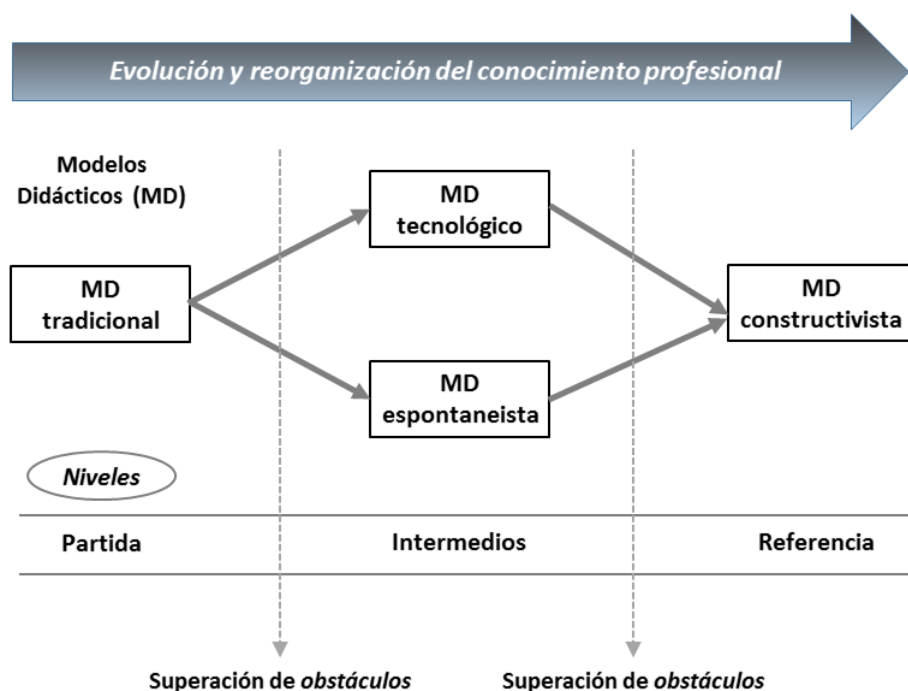


Figura 2.5. Hipótesis de progresión en los modelos didácticos personales. Adaptado de Martín del Pozo & Rivero (2001) y Solís (2005)

Según estos autores, al participar en programas formativos es probable que los futuros profesores –o aquellos en ejercicio– empiecen a asumir una visión crítica sobre el modelo didáctico basado en la transmisión verbal y en el “orden”, y comiencen a acercarse, progresivamente, a un modelo didáctico constructivista o de investigación escolar. En este proceso, deberán enfrentarse de forma reflexiva a creencias personales fuertemente “enraizadas”, que pueden entenderse como «obstáculos» en su desarrollo profesional (Porlán et al., 2011; Vázquez-Bernal, Jiménez-Pérez & Mellado, 2010) y cuya superación les permitirá alcanzar niveles de pensamiento más cercanos a los del modelo de referencia: el constructivista.¹⁴

Asimismo, según sea la crítica al modelo tradicional, se proponen varios itinerarios de progresión indicados en la Figura 2.5 (Martín del Pozo & Rivero, 2001; Solís, Rivero & Martín del Pozo, 2009):

¹⁴ Exceptuando la inclusión del modelo de descubrimiento, la formulación de modelos didácticos de Fernández-González y Elortegui (1996), cuyo enfoque artesano-humanista resulta muy similar al espontaneísta, también se ajustaría bien a la Figura 2.5.

- Una crítica enfocada principalmente en la consecución de objetivos –o crítica científica– daría lugar a un *modelo didáctico tecnológico*. En este caso, a diferencia del modelo tradicional, se considera necesario explicitar las ideas previas, aunque el profesor será el encargado de “sustituirlas” por un conocimiento “verdadero”. Según este modelo, es necesario llevar a cabo una planificación muy estructurada de las actividades (incluyendo los «ejercicios» y las «prácticas»), donde generalmente hay un predominio de contenidos conceptuales y de trabajo individual del alumnado. Se plantean pruebas de evaluación frecuentes para verificar los logros de aprendizaje.
- Una crítica de tipo más ideológico –basada en los valores, actitudes y normas del modelo tradicional–, daría lugar a un *modelo didáctico espontaneísta* o activista. Esta tendencia enfatiza la importancia de distintos factores afectivos y sociales en el aprendizaje: los intereses del alumnado, su papel “activo”, el trabajo cooperativo... En este caso, la programación didáctica no presenta un nivel de concreción tan elevado, y los esquemas explicativos del alumnado, más allá de los fenómenos de su entorno, presentan un rol secundario. El aprendizaje se centra fundamentalmente en las destrezas científicas, a través de las cuales –interacción con los materiales curriculares o con la realidad próxima– se asume que el alumno genera conocimiento.

Una vez descritas las características de las concepciones sobre la enseñanza-aprendizaje, y su papel en los modelos didácticos, resulta comprensible que la *evaluación* de propuestas de formación inicial y permanente en base al *cambio en las creencias* resulte una línea de investigación de gran potencial en la didáctica de las ciencias. Así, estas creencias jugarán un papel fundamental en la planificación y práctica docente de los participantes en estos programas, debido a su rol central en el Conocimiento Didáctico del Contenido (Friedrichsen et al., 2011; Luft & Roehrig, 2007; Magnusson et al., 1999).

Según expresan autores como Pozo *et al.* (2006) o Richardson (2003), conviene ser cautos al interpretar las respuestas de los profesores en formación sobre sus creencias, o la justificación de sus propuestas didácticas, porque estos resultados suponen un primer indicio de cambio profesional, que habrá que comprobar en un ambiente de aula –donde el comportamiento tiende a ser más complejo y “conservador”– (Chen et al., 2015; Cochran-Smith et al., 2015). Sin embargo, la evolución en las ideas supone un paso necesario, aunque no suficiente, para cambiar la práctica (Blanchard et al., 2009; Fuentes et al., 2009; Gess-Newsome, Southerland, Johnston & Woodbury, 2003) y así se refleja, *p.ej.*, en el modelo mostrado en la Figura 2.6.

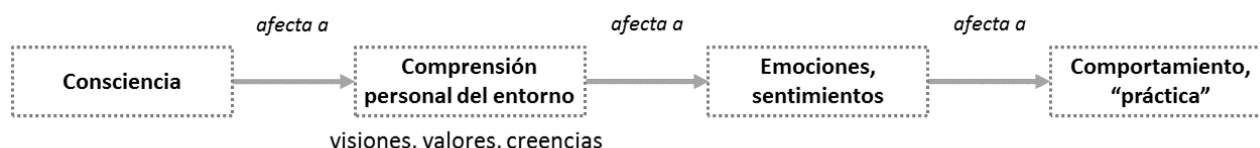


Figura 2.6. Modelo de desarrollo personal jerárquico. Adaptado de Kegan (1994) y Blanchard et al. (2009)

En el modelo psicológico de Kegan (1994) –Figura 2.6–, el cambio de comportamiento depende de la inclinación hacia este cambio (de los sentimientos personales), de la visión particular del entorno (que incluye las creencias y valores) y del cambio del modo en que se conoce (es decir, de la consciencia). Este tipo de planteamiento justifica que, desde los programas de formación del profesorado, se asuma la necesidad de promover la explicación de las creencias docentes y, con la ayuda de secuencias de actividades apropiadas, se intente poner en cuestión el pensamiento de tipo tradicional, como primer paso en la evolución profesional (Martínez-Aznar et al., 2017).

Asimismo, estas ideas se ajustan al marco de análisis propuesto en distintas investigaciones (Solís et al., 2009; Solís, Porlán, & Rivero, 2012; Vázquez-Bernal et al., 2010; Vázquez-Bernal, Mellado, Jiménez-Pérez & Taboada, 2012), que distinguen, entre otros, la justificación teórica inicial de una propuesta didáctica, su puesta en práctica y la reflexión posterior a su desarrollo (Munby, 1989; Schön, 1983). En este sentido, en nuestro contexto se ha comprobado que el pensamiento *en la acción* y las reflexiones posteriores a la práctica de aula tienden a ser más «tradicionales» que las pretensiones docentes iniciales (Solís et al., 2012; Vázquez-Bernal et al., 2007b), pero ello no resta importancia al cambio en estas concepciones, como paso necesario para la evolución profesional.

En esta investigación –encuadrada sobre todo en la fase previa al Practicum– se analizan las creencias declaradas por los futuros profesores de Secundaria antes y después de un programa formativo en las asignaturas de didáctica. Para ello, dado que nos situamos en un nivel de análisis declarativo (respuestas a un cuestionario tipo Likert), se opta por considerar proposiciones de estudio formuladas según los dos modelos didácticos “extremos”, el tradicional y el constructivista (Hamed, Rivero & Martín del Pozo, 2016; Martínez-Aznar et al., 2001; Woolley, Benjamin & Woolley, 2004). Por completitud, sus características se recogen en las Figuras 2.7 y 2.8, diseñadas a partir de la propuesta de Jiménez-Aleixandre (2000).

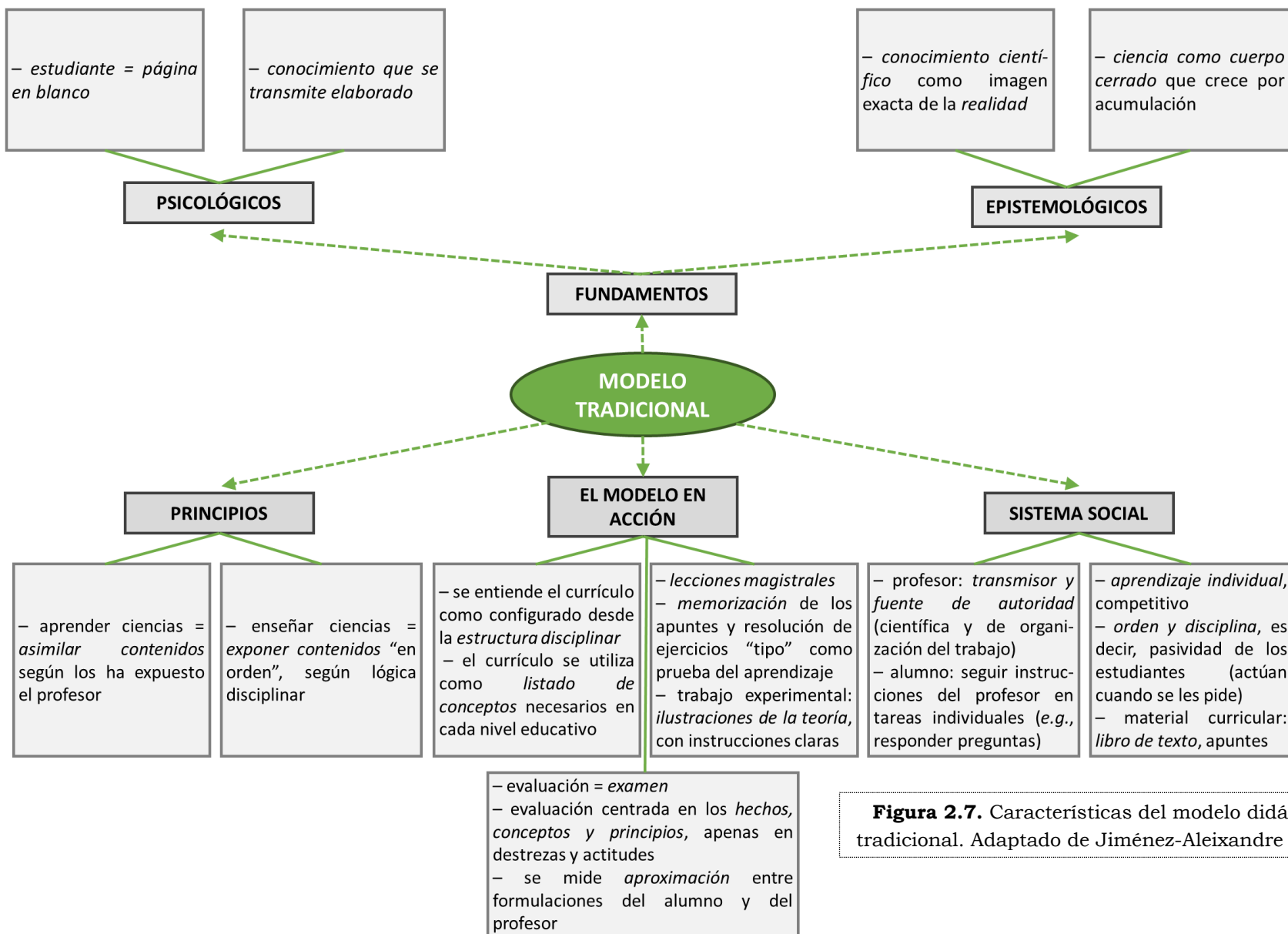


Figura 2.7. Características del modelo didáctico tradicional. Adaptado de Jiménez-Aleixandre (2000)

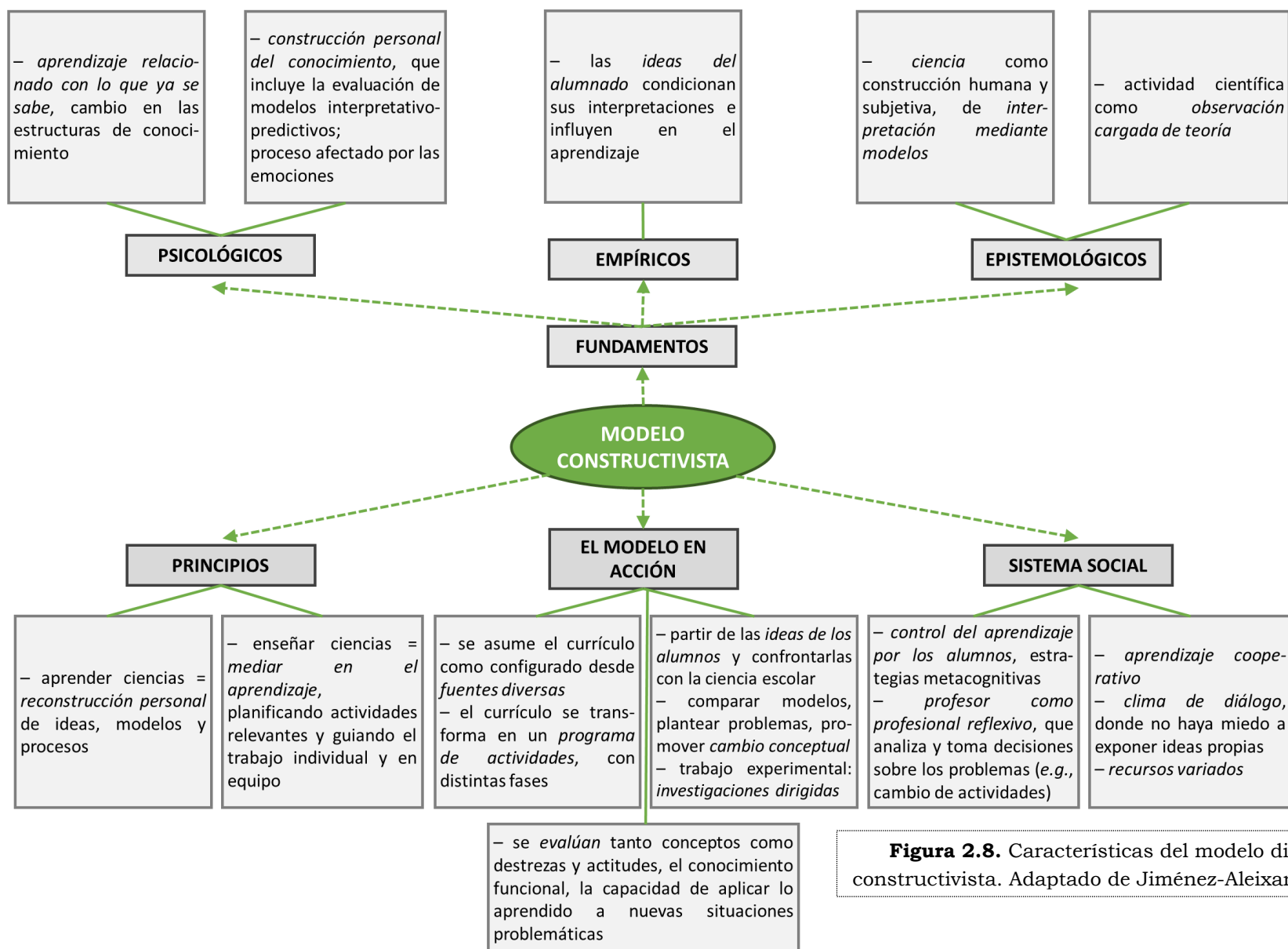


Figura 2.8. Características del modelo didáctico constructivista. Adaptado de Jiménez-Aleixandre (2000)

2.3. La indagación como estrategia metodológica para el futuro profesorado

En la primera sección del capítulo se abordaron los fines y destrezas asumidos para la educación científica –ACyT y competencia científica– y el contexto normativo que rige la formación del profesorado para dar respuesta a estas demandas. Ya en la segunda sección, se desarrolló la temática del conocimiento «característico» del profesorado, ajustado al marco del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) y a las características que debería cumplir un programa formativo para favorecer su desarrollo.

De este modo, lo que resta es concretar qué aspectos específicos de la propuesta serán objeto de un análisis y evaluación más intensivos en esta investigación. Este elemento central será el aprendizaje de la indagación como cambio metodológico en la enseñanza, a partir de problemas abiertos escolares que abordan «conceptos estructurantes» de la física y la química.

2.3.1. La indagación en el contexto educativo actual

Los indicadores de la *competencia científica* presentados en primera sección del capítulo, y en concreto los resultados nacionales obtenidos en las evaluaciones PISA sobre esta competencia, ponen de manifiesto la necesidad de un cambio metodológico. Diversos agentes educativos vienen sugiriendo que, al margen de las calificaciones finales, muchos escolares no alcanzan los fines educativos, pudiendo encontrar dificultades para entender lo que leen o para aplicar conceptos científicos a la vida cotidiana. En relación con las causas de esta situación, y con la descripción previa de los *modelos didácticos*, Porlán *et al.* (2010) afirman que «se identifica aprender con memorizar [...], los contenidos son concebidos como fines y no como medios para interpretar el mundo, y los conceptos (complejos y dinámicos) se reducen a datos (simples y estáticos)» (p. 32). Además, estos autores describen un contexto actual en el que «los alumnos no son sujetos de aprendizaje sino objetos de enseñanza; es decir, no son considerados entes epistémicos (poseedores de significados, intereses e impulsos para la acción) sino objetos de adoctrinamiento académico» (p. 32).

No cabe duda de que la enseñanza de las ciencias es una *tarea compleja*, que requiere replantear la lógica disciplinar para adaptarla al contexto escolar (Campanario & Moya, 1999), abordar conceptos de naturaleza abstracta –como la energía y la fuerza, o los niveles de representación de una reacción química– (Martín del Pozo, 2001; Varela & Martínez-Aznar, 1997a), trabajar sobre objetos de estudio con carácter no observable (Aragón, Oliva & Navarrete, 2013; Guisasola, Zubimendi, Almudí & Ceberio, 2008), o diseñar actividades para comprender la naturaleza de la ciencia (Acevedo, García-Carmona & Aragón, 2016).

A pesar de ello, distintos estudios realizados desde hace años señalan que la ciencia es valorada como una actividad muy relevante en el contexto actual, opinión que comparten tanto los escolares (OCDE, 2007) como la ciudadanía en general (FECYT, 2015). En este sentido, la investigación realizada en el marco de las pruebas PISA 2006 (OCDE, 2007) señala que los estudiantes de 15 años, de forma casi unánime, asumen la importancia de la ciencia para comprender el mundo (93% de los escolares) y su valía para la sociedad en general (87%). Igualmente, para el contexto de la población española mayor de 15 años, el estudio de la FECYT (2015) indica que cerca de dos tercios de los entrevistados (59.5%) considera que los beneficios de la ciencia y la tecnología son mayores que sus perjuicios.¹⁵

Sin embargo, la investigación llevada a cabo en PISA 2015 (OCDE, 2016) muestra que, en el conjunto de países de la OCDE, tan solo un 25% de los escolares pretende tener un empleo que requiera una formación científica superior a la cursada en la educación obligatoria. Y, desgraciadamente, el dato encaja bien con el porcentaje de universitarios europeos matriculados en estudios de ciencias, que ha ido disminuyendo del 24.4% en 2001 al 21.4% en 2010 según la OCDE (*como se cita en Rosa, 2016*). En este sentido, PISA 2015 sugiere que la elección de estudios universitarios de tipo científico viene determinada por un efecto combinado del desempeño escolar en las materias de ciencias, la percepción de autoeficacia y la motivación hacia las asignaturas de ciencias (Wang & Degol, 2017).

El primero de estos factores se aborda de forma general a lo largo del capítulo. En relación con el segundo (*autoeficacia*), cabe decir que los resultados obtenidos en el marco de PISA 2015 no son muy halagüeños: los porcentajes de escolares europeos de 15 años que se consideran capaces de reconocer una evidencia científica en un reportaje sobre la salud (21%), o la eliminación de residuos (16%), interpretar la información científica en el etiquetado de los alimentos (20%) o elegir una explicación adecuada sobre la formación de la lluvia ácida (18%) no llegan a superar el 25% en ningún caso (OCDE, 2016). Igualmente, si se profundiza en la percepción de la población española mayor de 15 años sobre su formación científica, el 47.1% la considera como «baja» o «muy baja», frente al 10.1% que la califica como «alta» o «muy alta» (FECYT, 2015).

Respecto al tercer factor señalado por Wang y Degol (2017), la *motivación* hacia las asignaturas de ciencias, el informe de la OCDE (2006b) «*Evolution of Student Interest in Science and Technology Studies*» –un *clásico*– apunta a un interés decreciente en la elección de estudios superiores sobre ciencia y tecnología. Este dato se justifica por la imagen de estas profesiones, los contenidos curriculares respectivos y, en general, por la calidad de la enseñanza y de la formación del profesorado.

En coherencia con lo expresado por otros autores, el informe de la OCDE argumenta que, a pesar de la curiosidad natural de los escolares de Primaria hacia la ciencia y la

¹⁵ Resultado obtenido a partir de un cuestionario donde previamente se abordan aspectos “controvertidos” de la ciencia y la tecnología: puestos de trabajo, privacidad, influencia medioambiental, alimentación, etc.

tecnología, muchos de sus maestros se sienten incómodos con estas asignaturas, y a menudo centran mucho más la docencia en la memorización que en su parte práctica y/o experimental (Cañal, 2000; Mellado, 2003). Ya en la Educación Secundaria, los estudiantes sienten la necesidad de constatar la relevancia de las asignaturas en relación con la sociedad y su propio mundo. Sin embargo, a menudo los contenidos se imparten de forma estática y atomizada (Hewson, Tabachnick, Zeichner & Lemberger, 1999; Wamba, 2001), con un carácter propedéutico falto de crítica (Osborne & Dillon, 2008) que contribuye a la merma del interés hacia la ciencia (OCDE, 2006b).

A tenor de documentos como el anterior, la Comisión Europea encarga a un grupo de expertos que incida en las razones y proponga medidas para revertir la falta de interés de los jóvenes hacia los estudios científicos, en base a acciones innovadoras llevadas a cabo. Fruto de ese trabajo, en 2007 se publica el informe «Science Education Now» (también denominado “Informe Rocard”), donde se dice que «*una reorientación de la pedagogía de la enseñanza de las ciencias en las escuelas, introduciendo los métodos basados en la investigación, permitiría aumentar el interés de los estudiantes por las ciencias*» (Rocard et al., 2007, p. 2). En este sentido, el Informe Rocard expone que una combinación de los métodos indagativos (IBSE, Inquiry-Based Science Education) con otros enfoques más habituales en la enseñanza, aumenta el interés y los niveles de competencia del alumnado, estimulando a su vez la motivación del profesorado. Asimismo, el informe concluye que «*el profesorado juega un papel clave en la renovación de la educación científica*» (Rocard et al., 2007, p. 14).

A pesar de no estar exento de una cierta controversia (Couso, 2014), hoy en día resulta innegable la influencia de *Science Education Now* (Rocard et al., 2007) como catalizador de un “despertar” de la indagación en las aulas escolares. A menudo, esta promoción se ha realizado a través de *proyectos* financiados por la Unión Europea (Bárcena, 2015; Romero-Ariza, 2017), con distintas pretensiones: PRIMAS (Promoting Inquiry in Science and Mathematics Education, 2010–2013), MASCIL (Mathematics and Science for Life 2013–2016), SAILS (Strategies for Assessment of Inquiry Learning in Science, 2012–2015), PROFILES (Professional Reflection Oriented Focus on Inquiry-based Learning and Education through Science, 2010–2014), PARRISE (Promoting Attainment of Responsible Research and Innovation in Science Education, 2014–2017), IRRESISTIBLE (Including Responsible Research and innovation in cutting Edge Science and Inquiry-based Science education to improve Teacher’s Ability of Bridging Learning Environments, 2013–2016), etc.

Además, la comunidad dedicada a la didáctica de las ciencias y a la formación de profesores, secunda la recomendación de dar un mayor protagonismo a la indagación, investigando las características que la convierten en una estrategia más efectiva (Furtak, Seidel, Iverson & Briggs, 2012; Minner, Levy & Century, 2010), los aspectos donde más sobresale (Lazonder & Harmsen, 2016) o los rasgos de los programas de formación docente catalogables como “efectivos” (Capps, Crawford, & Constan, 2012).

Precisamente, la indagación se asume como estrategia metodológica central en la asignatura de Didáctica de la Química del Máster en la UCM y, por ello, el análisis de su aprendizaje por parte de los futuros profesores, y las reflexiones asociadas, serán elementos fundamentales de esta investigación doctoral.

2.3.2. ¿A qué nos referimos al hablar de indagación en las clases de ciencias?

En primer lugar, conviene tener en cuenta que la noción de *indagación*, así como los rasgos asociados a este enfoque metodológico, conforman un *constructo dinámico*, que permanece en reelaboración. Igualmente, a pesar de que su “despertar” probablemente se sitúa en la última década –al igual que la extensión del término *Inquiry-Based Science Education* (IBSE)–, la indagación puede considerarse una estrategia didáctica de largo recorrido. Así, en nuestro propio contexto, en las décadas de los 80 y 90 se publican propuestas asociadas al «aprendizaje de las ciencias como investigación» (Gil-Pérez & Martínez-Torregrosa, 1983, 1987; Varela, 1994; Varela & Martínez-Aznar, 1997a, 1997b) o a los «trabajos prácticos investigativos» (Caamaño, 1992), que quedarían perfectamente englobados en el conocimiento actual sobre la indagación.

Podría decirse que este modelo de enseñanza-aprendizaje surge de distintas aportaciones realizadas desde los campos de la filosofía, psicología y pedagogía, como «Experience and Education» (Dewey, 1938), «The Conditions of Learning» (Gagné, 1965) o «The Teaching of Science as Enquiry» (Schwab, 1962). En el primer caso, como parte de una visión *progresista* de la educación, Dewey (1938) defiende una propuesta metodológica que consta de distintas fases: propuesta de situaciones o experiencias relevantes para el alumnado, problematización, formulación de hipótesis, búsqueda de soluciones viables y contrastación de las hipótesis emitidas. Con ello, se pone énfasis en la implicación del estudiante, por medio de un enfoque orientado a la acción –*learning by doing*– ajustado a un «ciclo de aprendizaje», idea de gran trascendencia en muchos de los esquemas indagativos actuales.¹⁶ Gagné (1965) define una jerarquía de complejidad según sean los objetos de aprendizaje, identificando la *resolución de problemas* como proceso de orden superior y promotor del aprendizaje significativo de los conceptos. Además, este psicólogo propone un conjunto de acciones docentes (retroalimentación, estímulos, orientaciones, etc.) para guiar estos procesos, muy similares a las incluidas hoy en día en la noción de «andamiaje». Por su parte, las aportaciones de Joseph Schwab (profesor de biología en Harvard) al enfoque indagativo y al aprendizaje sobre la naturaleza de la ciencia son muy destacables. En los trabajos de este autor (*p.ej.*, Schwab, 1962), se defiende la necesidad de promover una visión sobre la forma –evolutiva, subjetiva, no dogmática– en que la comunidad científica construye conocimiento (Chiappetta, 2008).

¹⁶ En años posteriores, esta propuesta encuentra seguidores como el psicólogo alemán Kurt Lewin, “padre” de la investigación-acción, que propone un ciclo de aprendizaje compuesto por: *i)* planificación, *ii)* acción y *iii)* búsqueda de hechos/conclusiones en los resultados de la acción (Chiappetta, 2008).

En esta breve revisión comienza a percibirse que el término «indagación», posiblemente uno de los más utilizados en la jerga didáctica, presenta distintas acepciones (Anderson, 2002; Simarro, Couso, & Pintó, 2013; Windschitl et al., 2008), lo que explica que a menudo las personas no estemos hablando de lo mismo al referirnos a esta noción. Por ello, la situación demanda un esfuerzo para clarificar sus fundamentos y estrategias de enseñanza asociadas (Furtak et al., 2012; Perales & Ayerbe, 2016).

En términos generales, existen “tres aspectos” a los que diversos autores se suelen referir al hablar de *indagación* (Abd-El-Khalick et al., 2004; Barrow, 2006; Couso, 2014):

- i) La indagación como destreza cognitiva a desarrollar por los estudiantes, la capacidad de «indagar» o «investigar» de forma científica.
- ii) La indagación como comprensión de los métodos utilizados por los científicos para responder a sus interrogantes y resolver problemas, la naturaleza de la indagación científica.
- iii) La indagación como conjunto de metodologías de enseñanza y aprendizaje a desarrollar por el profesorado para que los estudiantes adquieran destrezas de indagación (i) y acerca de la indagación científica (ii), y para comprender mejor los conceptos científicos.

Si se analizan los tres rasgos anteriores, se puede concluir que los dos primeros se refieren a la «indagación como fin» de la educación científica (Abd-El-Khalick et al., 2004), en una clara correspondencia con el marco teórico de PISA 2015 para evaluar la competencia científica –ver Figura 2.1, pág. 15– (OCDE, 2013). En cambio, el tercer aspecto corresponde a la «indagación como medio» (Abd-El-Khalick et al., 2004), como conjunto de metodologías docentes para promover un aprendizaje significativo y aumentar la motivación hacia las asignaturas de ciencias (Rocard et al., 2007). En todo caso, fruto de la investigación en los últimos años, las reformas curriculares recientes están incluyendo una visión doble de la indagación como «medio» y «fin» de la educación escolar, aunque las menciones al segundo de los aspectos (ii), sobre la naturaleza y epistemología de la indagación científica, todavía siguen siendo un tanto genéricas (Acevedo & García-Carmona, 2016; Pavón & Martínez-Aznar, 2014).

En esta investigación, la indagación se considera como el conjunto de capacidades y la comprensión sobre las características de la actividad científica necesarios para favorecer la Alfabetización Científica y Tecnológica (ACyT) de los estudiantes. Igualmente, se asume el papel motivador del uso de metodologías centradas en el estudiante, que favorezcan su implicación en la resolución de retos, a partir de estrategias creativas similares a las utilizadas en los equipos de investigación. A partir de esta visión dual de la indagación *como medio y como fin*, resulta necesario concretar las características de las destrezas asociadas a este término. Para ello, podemos fijarnos en la siguiente definición de Linn, Davis y Bell (2004):

[La indagación es] el proceso intencional de identificación y análisis de problemas, la distinción de alternativas y la crítica de experiencias para resolverlos, la planificación de investigaciones, la construcción de modelos, la investigación sobre hipótesis, la búsqueda de información, el debate con los compañeros y la construcción de argumentos coherentes. (p. 4)

Si se analiza esta definición, se puede percibir la riqueza de indicadores de competencia que conlleva la indagación, desde destrezas como la identificación de preguntas investigables, la planificación de procedimientos, el control de las variables o la interpretación de patrones, hasta otras más relacionadas con la argumentación y la modelización, aspectos esenciales de la práctica científica (Hernández, Couso & Pintó, 2015; Oliva, Aragón & Jiménez-Tenorio, 2015; Windschitl et al., 2008). Además, dado que estas metodologías también deben promover la comprensión sobre la propia naturaleza de la indagación científica, de forma complementaria conviene considerar la siguiente definición de Crawford (2007):

[La indagación implica] comprender las distintas formas en que los científicos realizan su trabajo, valorar la potencialidad de la observaciones, habilidad para formular preguntas investigables y emitir hipótesis, utilizar distintos tipos de datos para buscar patrones y confirmar o rechazar las predicciones, construir y defender modelos y argumentos, juzgar explicaciones alternativas y lograr una mejor comprensión del carácter provisional y evolutivo de la ciencia, y su origen en la actividad humana, el contexto y la cultura en que se desarrolla y utiliza. (p. 614)

Por todo ello, la utilización de la indagación como metodología docente supone dar respuesta a las demandas sobre la ACyT y, a su vez, implica un cambio en los roles de estudiantes y profesores, que puede resultar *motivador* para ambas partes. Los papeles asignados a ambos en el desarrollo de actividades indagativas se recogen en la Tabla 2.7.

Entre las características señaladas en la tabla sobre la indagación, conviene detenerse en el rasgo del *andamiaje*, que es aquel que permite *distinguir* este enfoque de otros englobados en el grupo de «minimally guided instruction» (Kirschner, Sweller & Clark, 2006), como el aprendizaje por descubrimiento (Campanario & Moya, 1999). Encuadrado en la perspectiva socioconstructivista de Vygotsky (1978), el andamiaje se entiende como como la ayuda del profesor a los estudiantes para realizar tareas que no serían capaces de resolver por sí mismos (Hmelo-Silver et al., 2007; Mercer & Fisher, 1992) y, a su vez, consiste en ir *transfiriendo* de forma gradual la *responsabilidad* de su resolución, de modo que el aprendizaje sea un proceso constructivo por parte del alumnado (Bruner, 1986).

En el caso de la indagación, se espera del profesor que facilite los aprendizajes de los estudiantes a través de estrategias como: la retroalimentación, las pistas, la instrucción –en momentos específicos–, la modelización, la formulación de preguntas (Van de Pol, Volman & Beishuizen, 2010), la estructuración de las tareas –su descomposición en actividades más manejables–, su problematización, etc. (Reiser, 2004). Así, el andamiaje es un proceso dinámico de interacción entre el docente y los estudiantes, y habrá que adaptar las técnicas a las situaciones concretas de aprendizaje (Van de Pol et al., 2010).

Rol del Alumno	Rol del Profesor
<ul style="list-style-type: none"> - Es el centro y protagonista del aprendizaje. Su primer papel es el de reflexionar, con la ayuda del profesor, sobre lo que sabe y lo que necesita aprender para resolver los desafíos planteados (Anderson, 2002). 	<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar sesiones de aprendizaje que permitan construir conocimiento por medio de actividades de carácter abierto. Éstas deben promover el rol protagonista del alumnado y su motivación (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005).
<ul style="list-style-type: none"> - Reconocer la necesaria conexión entre conceptos, modelos y destrezas científicas para superar retos (Martínez-Torregrosa et al., 2012). Percibir la relevancia de la ciencia – como proceso y producto– en situaciones a las que tendrá que enfrentarse. 	<ul style="list-style-type: none"> - Proporcionar retos específicos a superar, como la construcción de artefactos tecnológicos o digitales, el estudio de casos –controversias– o la resolución de situaciones problemáticas (Caamaño, 2012; Rosa & Martínez-Aznar, 2016).
<ul style="list-style-type: none"> - Operativizar y personalizar los desafíos planteados según los intereses del equipo de trabajo y los recursos disponibles (Martínez-Aznar & Bárcena, 2013). 	<ul style="list-style-type: none"> - Resolver los retos previamente, contemplando distintas posibilidades o vías que pudieran surgir en el aula (Martínez-Aznar & Bárcena, 2013).
<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollar habilidades indagativas: proponer y perfeccionar preguntas de investigación, emitir hipótesis, diseñar investigaciones y ponerlas en práctica, controlar variables, analizar y comunicar sus resultados, utilizar y construir modelos, etc. (NRC, 2012). 	<ul style="list-style-type: none"> - Facilitar un andamiaje (<i>scaffolding</i>) que guíe la resolución de los retos, por medio de estrategias como: formulación de preguntas, proporción de diagramas/esquemas para escribir los razonamientos conceptuales y procedimentales, presentación de materiales en determinados momentos, etc. (Sandoval & Reiser, 2004; Kawalkar & Vijapurkar, 2013).
<ul style="list-style-type: none"> - Asumir la necesidad de recoger por escrito el proceso de aprendizaje como una característica propia de las actividades indagativas (Martínez-Aznar & Ovejero, 1997). 	<ul style="list-style-type: none"> - Fomentar la verbalización de los aprendizajes y, con ello, el desarrollo de la metacognición (Campanario, 2000; Schraw, Crippen & Hartley, 2006).
<ul style="list-style-type: none"> - Implicarse en el equipo de trabajo, tomar decisiones, fomentar la contribución de los miembros del grupo y aceptar el resultado de todo el proceso. En general, el alumno debe asumir su responsabilidad en el aprendizaje (Prince & Felder, 2007). 	<ul style="list-style-type: none"> - Supervisar la formación de equipos de trabajo cooperativo y guiar los procesos de discusión en los grupos, promoviendo el desarrollo de actitudes para la colaboración (Romero-Álvarez, Rodríguez-Castillo & Gómez-Pérez, 2008).
<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollar destrezas para abordar los desafíos de un modo progresivamente más autodirigido y autorregulado (English & Kitsantas, 2013). 	<ul style="list-style-type: none"> - Administrar el tiempo disponible para la resolución de los retos (Lawson, 2000).
<ul style="list-style-type: none"> - Reflexionar sobre los logros de aprendizaje, a nivel conceptual, procedimental y actitudinal (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005) 	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluar los aprendizajes de los escolares, tanto en el desarrollo de las sesiones de aula (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2017) como a partir de sus informes finales (Ferrés, Marbà, & Sanmartí, 2015).

Tabla 2.7. Roles desempeñados por el alumno y por el profesor durante la resolución de actividades indagativas

En base a las características descritas en la Tabla 2.7, cabe decir que al implementar estrategias indagativas, la actividad del profesor y su carga de trabajo antes, durante y después de las clases es muy relevante (Crawford, 2000). No obstante, del mismo modo su recompensa en términos de emoción y satisfacción por los logros de los estudiantes suele compensar ampliamente el esfuerzo invertido (Blanchard et al., 2009; Vázquez-Bernal et al., 2012).

En relación a los aprendizajes escolares cuando se trabaja con metodologías de esta naturaleza, la investigación educativa apunta a *resultados satisfactorios* en los distintos ámbitos de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias,¹⁷ recogidos, *p.ej.*, en distintos estudios de meta-análisis:

- Minner et al. (2010), a partir de una revisión de 138 estudios sobre indagación en el periodo 1984-2002, comprueban que este tipo de enfoques no solo contribuyen al desarrollo de destrezas científicas, sino que además promueven un mejor aprendizaje sobre *conceptos y teorías*, que a su vez es más *persistente* en el tiempo. Además, el análisis de estas autoras recoge que, en relación a etapas indagativas como la formulación de preguntas, la recogida de datos, la comunicación o la obtención de conclusiones a partir de los resultados, el énfasis de la enseñanza-aprendizaje en esta última etapa da lugar a mayores logros por parte de los estudiantes.
- Furtak et al. (2012) llevan a cabo un análisis de 37 investigaciones con grupo de control durante los años 1996-2006. Además, distinguen cuáles de estos estudios desarrollan una indagación más próxima al aprendizaje por descubrimiento (que denominan *student-led inquiry*) y cuáles implican una labor de andamiaje más intensiva (que nombran como *teacher-guided inquiry*). Los resultados indican que, en general, las metodologías indagativas dan lugar a logros medios de aprendizaje significativamente mejores que las tradicionales, y que entre las dos variantes anteriores, la indagación guiada da lugar a resultados notablemente superiores.
- El estudio reciente de Lazonder y Harmsen (2016), sobre 72 investigaciones cuasi-experimentales en el periodo 1993-2013, demuestra la contribución positiva de la indagación al desarrollo de destrezas de investigación (T.E. = 0.66),¹⁸ a la calidad de los productos generados por el alumnado (T.E. = 0.71) y al aprendizaje general –conocimientos, capacidades, actitudes– de los estudiantes (T.E. = 0.50). Además, se pone de manifiesto la *influencia* del tipo de andamiaje proporcionado en estos logros.

Además de los aspectos ya reseñados, se ha comprobado que la indagación favorece la habilidad para afrontar problemas experimentales (Keselman, 2003; Roesch, Nerb &

¹⁷ Aunque, a su vez, se señala el aspecto crítico del papel del profesor (Hattie, 2009) y de la importancia de cómo diseñe el andamiaje para guiar a los estudiantes (Crujeiras, 2017), para poder proporcionar prácticas epistémicas auténticas y beneficiosas para el aprendizaje (Couso, 2014).

¹⁸ T.E. = Tamaño del Efecto en relación al grupo de control, donde se sigue una metodología tradicional.

Riess, 2015), el aprendizaje autónomo (Schraw et al., 2006), la motivación del alumnado hacia el trabajo escolar (Deci & Ryan, 2000) y, además, promoviendo una base de conocimientos *al menos* semejante a la de otras metodologías más tradicionales (Strobel & van Barneveld, 2009; Wong & Day, 2009) y con un aprendizaje más persistente en el tiempo (Capon & Kuhn, 2004; English & Kitsantas, 2013; Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005; Rosa, 2016).

Sin embargo, a pesar de los beneficios reconocidos sobre la indagación, cabe destacar que su uso en las aulas escolares es más bien minoritario (Capps & Crawford, 2013), hecho que suele relacionarse con las *creencias* asumidas –por un contraste con la práctica escolar habitual– y con la propia *comprensión* sobre sus características (Roehrig, Kruse & Kern, 2007; Vilchez & Bravo-Torija, 2015; Wheeler, Bell, Whitworth & Maeng, 2015). En la Tabla 2.8 se recoge una revisión de creencias negativas sobre la indagación detectadas por distintos investigadores, que servirán de marco para analizar los resultados de nuestro estudio. Este tipo de concepciones, que van en contra del uso de la indagación en la Educación Primaria y Secundaria, justifican un trabajo reflexivo sobre estas estrategias desde la formación inicial del profesorado, aspecto que será abordado en el capítulo 5 del documento.

Creencias detectadas	Autores de los estudios
La indagación consume mucho tiempo, y puede ser incompatible con la extensión de los currículos escolares	Gyllenpalm, Wickman y Holmgren (2010); Capps, Crawford y Constan (2012); Abril, Romero-Ariza, Quesada, y García (2014)
La indagación dificulta la gestión del aula. El alumnado se puede resistir al trabajo y comportarse de forma disruptiva	Lawson (2000); Prince y Felder, (2006); Marshall y Smart (2013)
La indagación contradice los roles de autoridad de la cultura escolar	Anderson (2007)
La formación del profesorado es insuficiente. El salto a “problemas reales” que requieren de destrezas diversas no encaja con la formación previa	Fensham, (2009); Capps et al. (2012); Ireland, Watters, Brownlee y Lupton (2014)
No existen suficientes materiales (adecuados) para trabajar la indagación en las aulas	Anderson (2002); Jones y Eick (2007) Abril et al., (2014)
La indagación solo es válida o útil para alumnos de altas capacidades	Colburn (2000); Quintanilla et al. (2010)

Tabla 2.8. Creencias negativas sobre la indagación detectadas en muestras de profesores en activo y en formación

2.3.3. Clasificación de los enfoques y actividades de naturaleza indagativa

A pesar de encontrarse ciertas características comunes de la indagación, que permiten distinguir este enfoque de otras metodologías de enseñanza-aprendizaje, igualmente, existe toda una tipología de variantes en los métodos catalogados como Inquiry-Based Science Education –IBSE– (Couso, 2014). Por ello, diversos autores han apuntado clasificaciones diferentes en base a criterios como el tipo de tareas o los recursos requeridos (Prince & Felder, 2006, 2007), el grado de apertura de los retos y el nivel de andamiaje proporcionado por el profesor (García-Carmona, Criado & Cruz-Guzmán, 2016; Wheeler et al., 2015), el foco en aspectos conceptuales y/o procedimentales (Martínez-Chico, Jiménez-Liso & López-Gay, 2014; Schwarz et al., 2009; Windschitl et al., 2008), el tipo de hipótesis a emitir (García-Carmona et al., 2016; Guisasola, Ceberio & Zubimendi, 2006) o la contextualización de los desafíos (Jiménez-Tenorio & Oliva, 2016a), entre otros.

Una primera tipología de métodos IBSE puede ser la propuesta por autores como Prince y Felder (2006, 2007), donde el criterio es el *tipo de actividades* y los resultados o productos esperados. En ella, en orden creciente de complejidad en relación con la planificación y la enseñanza, o con la posible resistencia del alumnado al trabajo, se incluyen:

- *Métodos Just-in-Time* (Novak, 2011), que combinan herramientas 2.0 (*p.ej.*, Kahoot, Google Forms, SurveyMonkey...) con metodologías activas de enseñanza. Se requiere que durante las clases –o de forma previa– los estudiantes resuelvan actividades de naturaleza conceptual, pudiendo recurrir a laboratorios virtuales o a material experimental. Las respuestas del alumnado se registran a través de las herramientas ya mencionadas, y de este modo, el profesor puede ir adecuando las sesiones de enseñanza-aprendizaje según sean éstas (López-Quintero, Varo, Laguna & Pontes, 2016).
- *Estudio de Casos*, donde los alumnos deben realizar un análisis de situaciones reales o hipotéticas (presentadas como textos, vídeos, infografías...) y diseñar estrategias que permitan resolver estos desafíos de forma justificada. A menudo, se recurre al estudio de casos históricos (Acevedo et al., 2017), o al análisis de controversias sociocientíficas en la prensa (Díaz-Moreno & Jiménez-Liso, 2012; Oliveras, Márquez & Sanmartí, 2013) y en la publicidad (Ezquerro, Fernández-Sánchez & Magaña, 2015a).
- *Aprendizaje Basado en Proyectos*, que comienza con el planteamiento de un reto que requiere elaborar algún producto final –*p.ej.*, un diseño, un artefacto tecnológico, un documento escrito, una simulación por ordenador...– (Rosa & Martínez-Aznar, 2016; Domènech & Ruiz-España, 2017). El matiz sobre la creación de un producto es, principalmente, el que permite distinguir este método del aprendizaje basado en problemas, pero en ambos casos el profesor debe facilitar un andamiaje que promueva la construcción del conocimiento (Hmelo-Silver et al., 2007). Así, se favorece que los alumnos relacionen el proyecto con sus ideas previas y desarrollen sus competencias para enfrentarse a desafíos diversos.

— *Aprendizaje Basado en Problemas*, donde la actividad de los estudiantes se articula alrededor de situaciones problemáticas con una cierta apertura¹⁹ y complejidad, en términos de la cantidad de contenidos relacionados (Jonassen & Hung, 2008). A diferencia del aprendizaje basado en proyectos, aquí la propia solución puede ser menos importante que el proceso de construcción del conocimiento en la resolución. De este modo, el profesor debe ejercer de guía de los *grupos de estudiantes* (English & Kitsantas, 2013) para favorecer la emisión de conjeturas, su evaluación, los procesos de argumentación, la comunicación de los resultados (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2015b), etc., y promover así el desarrollo de la metacognición y de la competencia para «aprender a aprender». Esta última metodología de la clasificación de Prince y Felder (2006, 2007), que a su vez puede subdividirse según sea la naturaleza de los problemas (Bevins & Price, 2016; Jiménez-Tenorio & Oliva, 2016a), se considera como la de mayor complejidad para el trabajo del alumnado y el profesorado.

Otra de las clasificaciones sobre la indagación se relaciona con el *grado de apertura* de los retos. En este sentido, distintos autores (Bevins & Price, 2016; Wheeler et al., 2015) describen una clasificación como la mostrada en la Tabla 2.8, que tiene su origen en experiencias de hace décadas donde ya se intentaba introducir las «prácticas científicas» en las aulas escolares (Herron, 1971).

Tipo de indagación *	Solución conocida a priori	Se facilita el procedimiento	Se proporciona el reto/ pregunta a investigar
Indagación confirmatoria (N1) ²⁰	SÍ	SÍ	SÍ
Indagación estructurada (N2)	NO	SÍ	SÍ
Indagación guiada (N3)	NO	NO	SÍ
Indagación abierta (N4)	NO	NO	NO

* Se indican los niveles 1–4 asociados a cada tipo de indagación según Wheeler et al. (2015)

Tabla 2.9. Clasificación de las actividades indagativas según la apertura de los desafíos

Según se observa en la tabla, la indagación resulta adaptable a los intereses del profesor y los estudiantes, permitiendo el diseño de distintos tipos de actividades a lo largo de un curso formativo (Wheeler & Bell, 2012). Así, los dos primeros niveles de la Tabla 2.8 se asocian a actividades de menor complejidad. La *indagación confirmatoria* (N1) permite comprobar ideas científicas a partir de la obtención y el análisis de datos, el control

¹⁹ Se suelen evitar los datos numéricos y, generalmente, se procura que haya varios procedimientos o soluciones posibles.

²⁰ Bell, Smetana y Binns (2005) o Wheeler et al. (2015) asocian un nivel 1 a la indagación confirmatoria en lugar del nivel 0 de Herron (1971). Justifican la práctica confirmatoria como propia de la historia de la ciencia y de la investigación en general –donde se realizan réplicas de estudios–. Sin embargo, estos autores justifican que para considerarse «indagación», debe implicar un *análisis sustantivo*.

de las variables, etc. La *indagación estructurada* (N2) promueve la construcción de explicaciones científicas a partir de las observaciones y datos obtenidos, o el diseño de un producto cuyo comportamiento habrá que analizar.

Los dos últimos tipos de indagación corresponden a actividades donde no se facilita un procedimiento específico para afrontar los desafíos. En la *indagación guiada* (N3) se proporciona un reto o pregunta a investigar, y los estudiantes tendrán que diseñar sus propias estrategias de resolución para obtener conclusiones o elaborar un producto. Finalmente, en la *indagación abierta* (N4) los alumnos son los responsables de elegir el reto de investigación, a partir del andamiaje del profesor y de sus propios intereses. Los «proyectos de investigación» realizados en algunos centros en los niveles previos a los universitarios (Ferrés et al., 2015) corresponden a este último tipo de indagación –el más complejo–.

Otros autores (Couso, 2014; Martínez-Chico et al., 2014; Windschitl et al., 2008) proponen una tipología diferente para clasificar los enfoques indagativos según se centren en contenidos conceptuales y/o procedimentales. En este sentido, cabe decir que existe un amplio consenso sobre la conveniencia de incorporar las «prácticas científicas» o epistémicas a la enseñanza-aprendizaje de las ciencias (Bybee, 2011; Kelly, McDonald & Wickman, 2012; Osborne, 2011). Así, se reivindica que además del conocimiento científico como *producto* del trabajo de la comunidad investigadora, los *procesos* y destrezas que dan lugar a su construcción (formulación de hipótesis, control de variables, argumentación, etc., vinculadas a la resolución de problemas) deberían formar parte de la actividad escolar.

Sin embargo, autores como Khan (2007) o Windschitl et al. (2008) alertan de un excesivo énfasis en la dimensión “manipulativa” de la experimentación, donde no siempre se trabaja la *representación cualitativa* de los problemas o se evalúa la adecuación de los *modelos teóricos* a la luz de los resultados obtenidos. Igualmente, Couso (2014) analiza el gran impacto del «Informe Rocard» en el uso de la indagación en las aulas y en las investigaciones didácticas asociadas, pero ofrece una reflexión crítica sobre la visión epistemológica “pobre” que a menudo se tiene sobre este enfoque formativo.

Por todo ello, según sea el *tipo de competencias* abordadas en las actividades indagativas, cabe distinguir (Couso, 2014; Martínez-Chico et al., 2014):

- *Hands-On Activities*. Su pretensión es que el estudiante *aprenda a indagar*, y para ello, deberá desarrollar destrezas investigativas básicas –observación, realización de medidas, predicción/comprobación, etc.– o de orden superior –formulación de preguntas de investigación, hipótesis, control de variables, etc.– (Lahera & Forteza, 2005). La *búsqueda de pruebas* para formular explicaciones es una de las metas de este enfoque.
- *Minds-On Activities*. Además de las destrezas anteriores –a las que no conviene restar importancia–, en este enfoque se facilita la integración de los *modelos teóricos* y de otras

formas de representación de las situaciones problemáticas, en el proceso de construcción del conocimiento. La idea es que las distintas etapas de resolución de una actividad tienen que relacionarse con las representaciones o modelos propuestos inicialmente, y fundamentalmente el análisis final, porque puede dar lugar a su reconstrucción. De este modo, este enfoque de enseñanza-aprendizaje promueve la construcción de conocimiento descriptivo, explicativo y predictivo, y favorece el cambio conceptual de los estudiantes (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005; Schwarz et al., 2009; Windschitl & Thompson, 2006). Asimismo, cabe destacar que, además de en el laboratorio, estas capacidades pueden promoverse perfectamente a través de actividades indagativas de “lápiz y papel” (Khan, 2007; Varela & Martínez-Aznar, 1997a).

Cabe decir que estas dos visiones sobre la indagación guardan una cierta relación con los aspectos ya descritos sobre la «indagación como fin» –aprender a indagar– o la «indagación como medio y como fin» –involucrarse en prácticas epistémicas y, además, mejorar la comprensión de los contenidos científicos y la persistencia temporal de los aprendizajes– (Abd-El-Khalick et al., 2004; Barrow, 2006).

Finalmente, es posible clasificar los retos indagativos según sea el *contexto de los problemas y su finalidad* (Blanco, Franco-Mariscal & España, 2017; Jiménez-Tenorio & Oliva, 2016a). En este caso, cabe distinguir:

- *Retos disciplinares con un grado de apertura moderado.* Se plantean desafíos donde el enfoque a seguir es prácticamente único. Sin embargo, los diseños de resolución –donde puede haber variaciones– los debe proponer el estudiante. Esta modalidad resulta especialmente útil para integrar el desarrollo de destrezas procedimentales con la comprensión *conceptual* y el uso y progresión de los *modelos* (Aliberas, Izquierdo, & Gutiérrez, 2013; Clement, 2000; Couso, 2014). También se trabajan las actitudes.
- *Retos de naturaleza más abierta, con orientaciones CTSA o STEM.* Los desafíos se plantean de forma más difusa, lo que permite reformulaciones muy variadas según sean los intereses del alumnado. Igualmente, existen diversas soluciones a los problemas. Debido a su contextualización en la vida cotidiana, este enfoque resulta especialmente útil para integrar la construcción de destrezas procedimentales con el desarrollo de actitudes relacionadas con la ciencia (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2006; Rodríguez-Mora & Blanco, 2016). También se trabajan los conceptos y modelos teóricos.

2.3.4. Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI)

Entre las variantes indagativas presentadas en el apartado anterior, esta investigación considera la *resolución de problemas* como metodología sobre la que articular el trabajo de los futuros profesores. Además, se asume un enfoque de tipo «minds-on», que otorga una gran importancia a la representación inicial de los problemas y a los modelos escolares implicados en su desarrollo.

Antes de pasar a describir el método específico utilizado en la asignatura de Didáctica de la Química (la MRPI), resulta oportuno discutir las características asociadas a los «problemas» en el ámbito de la enseñanza-aprendizaje. ¿Qué se entiende por *problema*? Para responder a esta pregunta, pueden seguirse los puntos de vista de la Psicología cognitiva y de la Didáctica –de las Ciencias–.

Desde la Psicología, las distintas definiciones de «problema» se centran fundamentalmente en dos aspectos: por una parte, en la propia *tarea* como algo que el sujeto no sabe resolver de antemano y, por otra, en la *actitud* del individuo ante la misma, es decir, en la necesidad de construir un medio o camino para resolverlo (Chi & Glaser, 1986; Simon, 1978).

Desde la Didáctica, además de asumir que siempre existe una *incertidumbre* ante las posibles soluciones de un problema, se destaca la idea del *desafío* que supone su resolución, por no ser inmediata, y la necesidad de crear una vía de *investigación* para lograrlo (Jonassen, 2011; Martínez-Aznar, Bárcena, Ibáñez & Varela, 2001; Savery, 2006; Watts, 1994). De este modo, las actividades que permiten llegar a soluciones para las situaciones problemáticas se enmarcan en el campo de la resolución de problemas o «problem-solving», término que surge en el área de las matemáticas (Polya, 1945) y se extiende al resto de las ciencias (Garrett, 1986).

En cuanto a la definición de «problema», Krulik y Rudnik (1980) proponen una definición sobre la que hay un amplio consenso:

Un problema es una situación, cuantitativa o no, que pide una solución para la cual los individuos implicados no conocen medios o caminos evidentes para obtenerla. *(como se cita en Ramírez, Gil-Pérez & Martínez-Torregrosa, 1994, p. 27)*

Asimismo, al hablar de «resolución de problemas», Polya (1980) señala que:

Resolver un problema consiste en encontrar un camino allí donde previamente no se conocía tal, encontrar una salida para una situación difícil, para vencer un obstáculo, para alcanzar un objetivo deseado que no puede ser inmediatamente alcanzado... *(como se cita en Ramírez et al., 1994, p. 27)*

Sin embargo, en la práctica docente habitual, los problemas se explican como algo que se debe saber hacer, algo cuya solución se conoce y no exige tentativas: en realidad éstos no son problemas, sino «ejercicios». Además, los estudiantes pueden aprender sus

soluciones y repetirlas ante situaciones idénticas, pero no aprenden a enfrentarse a problemas verdaderos, y cualquier cambio pequeño (formulación del enunciado, tipo de datos, etc.) les supone grandes dificultades llegando a provocar su abandono.

Por tanto, entendiendo los problemas como situaciones para las que no se tienen respuestas elaboradas, cabe plantearse cómo abordar su resolución. En este sentido, podría analizarse qué es lo que hacen los científicos cuando tienen que enfrentarse con *auténticos* problemas para ellos. Así, podría llegarse a la conclusión de que éstos emplean un tiempo inicial con cada problema para realizar una *representación de la situación* – antes de proceder con las ecuaciones o fórmulas– (Bybee, 2011; Windschitl et al., 2008), para *emitir* posibles soluciones a título de *hipótesis*, etc., procedimientos que son poco habituales en la realidad escolar (Gil-Pérez & Martínez-Torregrosa, 1983; Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005). Ahora bien, ¿cuál es la razón por la que los escolares habitualmente no llevan a cabo estas etapas?

En relación a la pregunta anterior, nuevamente hay un cierto consenso en que *«la inclusión de todos los datos en el enunciado, así como la explicitación de todas las condiciones reinantes, [...] ahogan la reflexión cualitativa y la emisión de hipótesis y orientan al manejo inmediato de dichos datos»* (Ramírez et al., 1994, p. 29). Por ello, cabe cuestionarse el recurrir permanentemente a problemas con «enunciados cerrados», que abocan al estudiante a limitarse a buscar ecuaciones que relacionen los datos e incógnitas del enunciado (como si se tratara de un “puzle”), cayendo en un mero operativismo (Martínez-Aznar, 1990).

Ahora bien, también es cierto que el hecho de pasar de una práctica «tradicional» de ejercicios, a considerar problemas con enunciados abiertos, sin datos, puede generar desconcierto. Por una parte, puede percibirse una cierta ambigüedad en los mismos, aunque también es cierto que la ambigüedad, o dicho en otros términos, los enunciados “mal estructurados”, son una característica de las situaciones genuinamente problemáticas (Chin & Chia, 2006; Ferrés et al., 2015; Perales, 2000). Además, una tarea importante del trabajo científico es la de acotar los problemas abiertos, simplificándolas de acuerdo a los intereses del equipo investigador.

Por otra parte, pueden existir dudas acerca de si los estudiantes no terminarán por extraviarse ante las mencionadas situaciones problemáticas abiertas. En este sentido, no basta con que el profesor enfrente al alumnado a enunciados sin datos, sin ningún tipo de orientación, para lograr una actividad con éxito. No obstante, si se dan las orientaciones oportunas en forma de *andamiaje* (Criswell, 2012; Hmelo-Silver et al., 2007), pueden conseguirse resultados realmente prometedores, tanto en lo relativo a los procedimientos vinculados a la resolución de problemas (González-Rodríguez & Crujeiras, 2016; Martínez-Aznar & Varela, 2009;) como en un cambio conceptual asociado al marco teórico de dichas situaciones problemáticas (Bárcena, 2015; Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005).

Con estos precedentes, una parte importante de esta investigación doctoral se basa el trabajo sobre la estrategia de Aprendizaje Basado en Problemas (ABP, o Problem-Based Learning/PBL) por parte de los futuros profesores. Según Pease y Kuhn (2011), el PBL se puede entender como la reformulación de los contenidos en secuencias de problemas que pasan a estructurar los aprendizajes y, por ello, no tienen por qué utilizarse a modo de «aplicación». Al igual que lo expresado sobre el modelo didáctico constructivista, existen distintas variantes de problemas que permiten adaptar la enseñanza a la temática específica, y a los intereses de alumnos y profesores. Por ello, la Figura 2.9 recoge varias clasificaciones en función de su contexto, la forma en que se incorporan los aspectos matemáticos, los procedimientos a seguir para su resolución (Martínez-Aznar, 1990), el área de conocimiento implicada, el tipo de solución o los rasgos de la tarea (Perales, 2000).

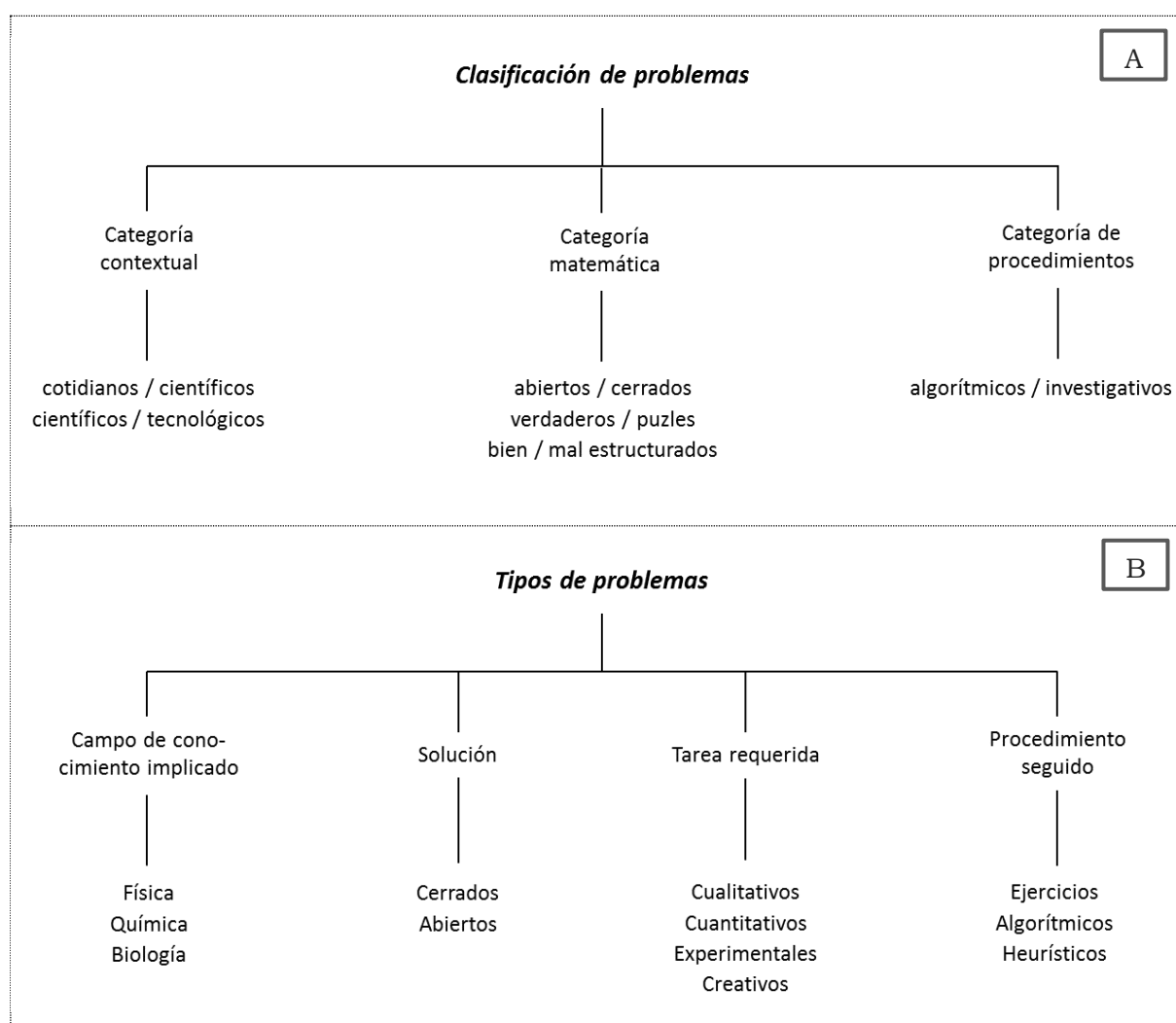


Figura 2.9. Clasificación de los problemas, a partir de las propuestas de A) Martínez-Aznar (1990) y B) Perales (2000)

Asimismo, y en relación con la figura, Koschmann, Myers, Feltovich y Barrows (1994), proponen una serie de recomendaciones con los que organizar los procesos de enseñanza-aprendizaje mediante PBL. En concreto, se asume que los problemas deben:

- Ser *abiertos*, evitando aportar parámetros que limiten la investigación (Ramírez et al., 1994).
- Poseer *complejidad*, en el sentido de involucrar un cierto número de contenidos y de evitar que las respuestas se encuentren fácilmente (Jonassen & Hung, 2008). Además, las tareas multidisciplinares proporcionan una buena imagen de la construcción del conocimiento científico (Hmelo-Silver, 2004).
- Tener un diseño “*mal estructurado*”, en los términos descritos por Chin y Chia (2006).
- Promover la *retroalimentación*, para que los estudiantes evalúen la adecuación de sus conocimientos y destrezas (Taconis, Ferguson-Hessler & Broekkamp, 2001).
- Fomentar la emisión de hipótesis y la *argumentación*, a partir de la comunicación de los aprendizajes a los compañeros de grupo (Crujeiras, 2014).

Entre las distintas metodologías PBL, en este trabajo se asume la *Metodología de Resolución de Problemas como Investigación* (MRPI). Esta estrategia, originaria de la Universidad de Valencia, se fundamenta en la comparación entre el modo en que resuelven los científicos sus situaciones problemáticas y los procesos que convendría utilizar en las clases de ciencias para favorecer la formación del alumnado (Gil-Pérez, 1993b; Gil-Pérez & Martínez-Torregrosa, 1983). Entre sus rasgos, se encuentran:

- Superar una posición empirista, dando más importancia a la representación teórica de los problemas.
- Considerar los problemas científicos como situaciones problemáticas que deben definirse y acotarse según los intereses investigativos.
- Asumir que en la actividad científica, más que en términos de certezas se razona en términos de hipótesis, y que los investigadores a menudo no parten de datos, sino que los buscan desde sus hipótesis y estrategias de resolución.
- Promover las revisiones sistemáticas del proceso de resolución, y comprobar la coherencia de las soluciones en función de la representación teórica y las hipótesis iniciales.

En el Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la UCM, el equipo de la profesora M^a Mercedes Martínez Aznar, desde hace más de 20 años, viene realizando aportaciones sobre los beneficios de la MRPI para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. En este sentido, en el ámbito de la Educación Secundaria, se han realizado contribuciones para las asignaturas de Física (Martínez-Aznar & Varela, 1996; Varela & Martínez-Aznar, 1997a, 1997b), Química (Bárcena, 2015; Martínez-Aznar & Ovejero, 1997), Biología (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005, 2007; Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005; Rosa, 2016), Geología (Rosa & Martínez-Aznar, 2014), Ampliación de Física y Química (Rodríguez-Arteche, Martínez-Aznar & Garitagoitia, 2016) o el Ámbito científico-tecnológico de Diversificación Curricular (Martínez-Aznar & Bárcena, 2013; Pavón & Martínez-Aznar, 2014). También se han realizado aportaciones para Educación Primaria (Dopazo,

2004; Martínez-Aznar 2009) y la formación inicial de maestros (Martínez-Aznar et al., 2001; Martínez-Aznar & Varela, 2009), como actores clave que son para la renovación de la educación científica. En todos estos trabajos los resultados han sido muy satisfactorios, tanto en el cambio conceptual y procedimental desarrollado por los estudiantes como en lo que respecta a las actitudes hacia la ciencia y su aprendizaje (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2006), preocupación manifestada desde las instituciones comunitarias.

Por ello, estos hechos justifican un trabajo específico sobre la MRPI desde la formación inicial del profesorado de Educación Secundaria (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016a, 2016b), para que el aprendizaje y reflexión de los docentes en formación inicial contribuya, en un futuro, a facilitar los aprendizajes de sus estudiantes, y así se promueva su interés hacia las ciencias, una preocupación reiterada en el capítulo (OCDE, 2006b; Rocard et al., 2007).

Llegados aquí, resulta oportuno describir las etapas que componen la *Metodología de Resolución de Problemas como Investigación* (MRPI), objeto de análisis de esta memoria. En primer lugar, cabe decir que estas fases deben entenderse como “secuencia orientadora” para resolver situaciones problemáticas. Es decir, cada etapa involucra destrezas científicas que pueden ser de utilidad en la resolución, pero ello no implica el seguimiento de las mismas de forma rígida o inflexible; más bien, deberían entenderse como un *andamiaje* de tipo *estructurador* (Reiser, 2004). Además, conviene destacar que el heurístico de la MRPI sirve para afrontar tanto problemas de “lápiz y papel” como situaciones problemáticas de naturaleza experimental,²¹ adecuándose a los intereses de profesores y alumnos. Así, las *fases* incluidas en la MRPI para la resolución de los problemas son (Gil-Pérez & Martínez-Torregrosa, 1983; Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005):

1. Análisis cualitativo del problema. A partir de un proceso asumido como “efectivo” para enfrentarse a un problema, una primera etapa debería ser la de una aproximación cualitativa a la situación, construyendo para ello un marco teórico de referencia, revisando las posibles concepciones alternativas al respecto, y decidiendo aquello que es necesario saber para acometer la resolución. A continuación, habría que reformular el problema en términos operativos, acotándose de acuerdo a las intenciones del estudiante. También deberían indicarse las restricciones a introducir para hacer viable la resolución.

Por otra parte, cabe destacar que la presentación de enunciados abiertos fomenta aspectos relacionados con la creatividad, ya que a partir de un enunciado inicial pueden desarrollarse distintas propuestas de acuerdo con los intereses de los estudiantes (Ferrés, 2017; Garrett, 1986).

2. Emisión de hipótesis. El alumnado, a partir del análisis cualitativo realizado, realizaría conjeturas para dar lugar a una emisión de hipótesis. Así, las hipótesis pueden

²¹ Por otra parte, la investigación en el área de la didáctica de las ciencias sugiere, desde hace años, el no asumir una distinción tan “rígida” entre ambos tipos de actividades (lápiz y papel /experimentación). Más bien, se plantea diseñar actividades más globales a partir de estrategias indagativas (Gil-Pérez et al., 1999).

orientar el proceso completo de resolución, indicando las variables que pueden influir en el resultado, y permitiendo realizar un análisis de los resultados. En este sentido, la verificación o falsación constituye una herramienta de gran interés para dar lugar a un cambio conceptual en el alumnado (Ferrés et al., 2015; Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005).

3. Diseño de estrategias de resolución. Los estudiantes pasarían a planificar uno o más diseños o experiencias para comprobar la validez de sus hipótesis. Para ello, convendría identificar las variables, distinguiendo las independientes, las dependientes y las de control y, para el caso de problemas de tipo experimental, determinar las magnitudes a medir, y los instrumentos y materiales a considerar. Finalmente, se tomarían las decisiones oportunas para la resolución del problema. Cabe decir que la planificación de varias estrategias es muy útil para analizar los resultados, ya que los resultados coincidentes permiten mostrar la coherencia del marco teórico utilizado (Franco-Mariscal, 2015; Rodríguez-Arteche et al., 2016).

4. Resolución del problema. Consiste en llevar a la práctica el / los diseño/s realizados en la etapa anterior, tomando nota de las observaciones y medidas realizadas, y llevando a cabo un registro de los datos. En este sentido, el haber realizado una planificación de las estrategias impide un tratamiento del tipo ensayo-error, sin olvidar que esta fase debe afrontarse de forma flexible, permitiendo que los alumnos “maniobren” si se encuentran con obstáculos insuperables. Por otra parte, debe fomentarse que los estudiantes verbalicen los procesos que están realizando, ya que esto favorece las revisiones críticas, el diagnóstico de errores y, de forma más amplia, la metacognición (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005; Schraw et al., 2006).

5. Análisis de resultados. En esta fase deben buscarse regularidades en los datos registrados, que permitan obtener resultados con una “coherencia interna”. Para ello, estos resultados deben analizarse a la luz de las hipótesis emitidas y del marco teórico descrito. Por todo ello, esta es una etapa esencial del proceso, mucho más allá de la revisión de errores en la resolución, y que al igual que en la propia actividad científica, puede conducir a *nuevos problemas e interrogantes*. Además, en el caso de problemas que requieran la construcción de modelos, esta sería la etapa que permitiría revisar su rango de validez (Oliva & Aragón, 2009) y proponer mejoras susceptibles de investigarse en futuros problemas (Hernández et al., 2015).

Por completitud, las fases de la MRPI –como proceso cíclico a desarrollar en grupos cooperativos– se muestran en la Figura 2.10. Según se observa, esta metodología resulta totalmente vigente en el momento actual, ya que sus fases recogen expresamente las dimensiones de la competencia científica planteadas en el marco PISA 2015 (OCDE, 2013) que, a su vez, son coherentes con las indicaciones del currículo de la LOMCE (MECD, 2015b) sobre las *competencias básicas en ciencia y tecnología*. Todo ello justifica, aún más, el trabajo con la MRPI desde las asignaturas de didáctica del Máster en Formación del Profesorado de Educación Secundaria.

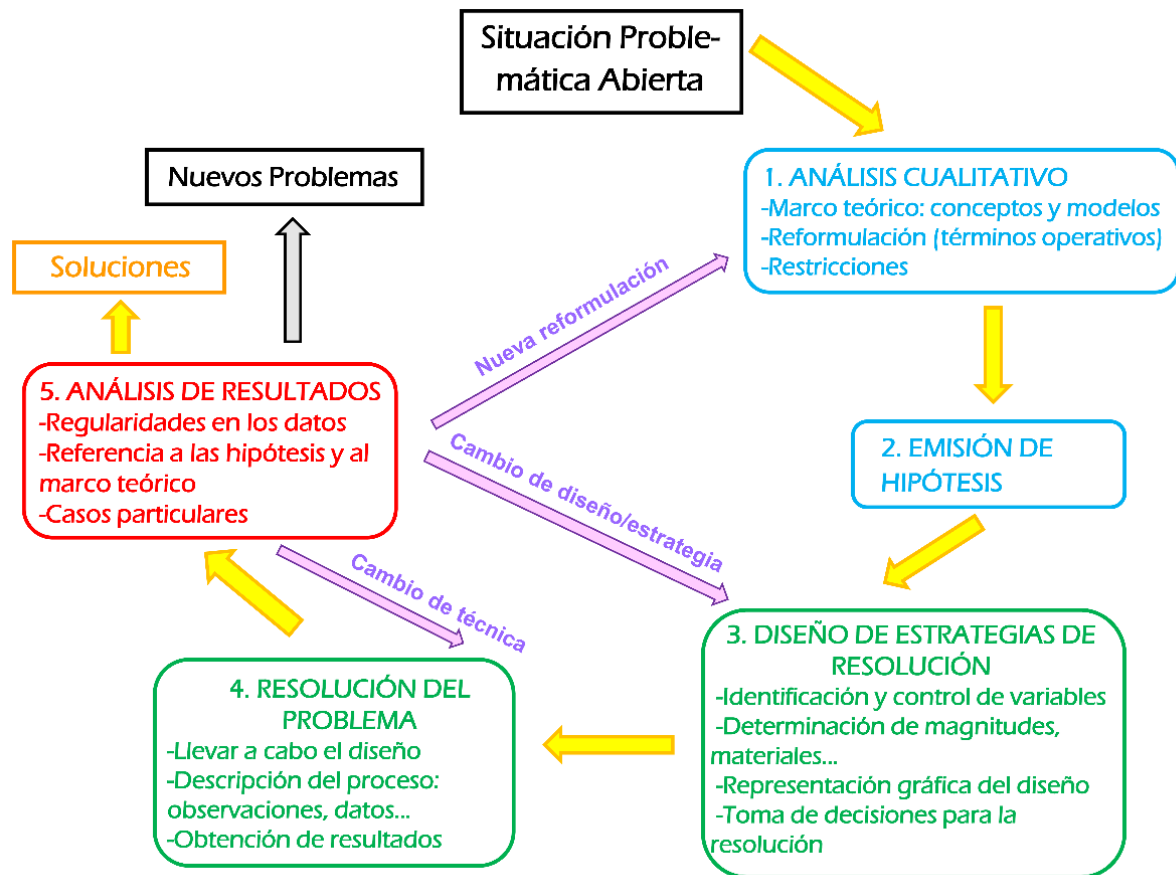


Figura 2.10. Concepción de la MRPI como un proceso cíclico

Capítulo 3

Diseño de la Investigación

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Tras exponer el marco teórico que sustenta esta memoria, este capítulo presenta la finalidad de la tesis y cómo se concreta en preguntas de investigación. Las respuestas a estas cuestiones, por medio de objetivos más específicos, permitirán obtener información de interés sobre la formación inicial de profesores de física y química. Para ello, se detallan los instrumentos y las técnicas de recogida de datos y de análisis que hacen posible la extracción de conclusiones. Asimismo, se justifica la distribución de los estudios más específicos en los artículos que conforman la tesis.

3.1. Finalidad de la investigación

El campo de la formación inicial del profesorado demanda investigaciones sobre propuestas, recursos y actividades específicas que permitan mejorar el diseño de los programas formativos y, de este modo, contribuyan a una necesaria renovación de la enseñanza en los niveles escolares (Jiménez-Tenorio & Oliva, 2016a; Martínez-Chico et al., 2014).

Para que este proceso tenga lugar, es fundamental contrastar la validez de estas propuestas en el logro de las metas. Así, resulta necesario comprobar los aspectos específicos donde los programas se muestran más y menos eficaces, relacionarlos con las “bases formativas” y, finalmente, publicar estos resultados (Jiménez-Tenorio & Oliva, 2016b; Solís, Martín del Pozo, Rivero & Porlán, 2013; Wideen, Mayer-Smith & Moon, 1998).

Esta tesis doctoral pretende contribuir a las demandas anteriores, a través del análisis de una propuesta para las asignaturas de didáctica de la especialidad de física y química del Máster en Formación del Profesorado de Secundaria (MFPS). El programa formativo se basa en la construcción del *Conocimiento Didáctico del Contenido* –CDC– (Shulman, 1986) por medio de la resolución de problemas profesionales, y persigue que las creencias docentes de los participantes avancen hacia las correspondientes a un modelo didáctico constructivista –o de investigación escolar– (Rivero et al., 2017). Una contribución positiva en esta línea, que por supuesto habría que reforzar en el Practicum y en el periodo de inducción a la docencia, facilitaría su labor futura en relación al desarrollo de competencias de los escolares y la consecución de su alfabetización científica (aspectos abordados en el capítulo anterior).

De forma más específica, la investigación se centra en la materia de Didáctica de la Química, y en el siguiente problema profesional: «¿Cómo se pueden diseñar actividades de enseñanza-aprendizaje?» Así, se pretende dar a conocer los resultados de una experiencia innovadora donde los futuros profesores participan en la resolución de problemas abiertos escolares siguiendo una metodología indagativa –la MRPI–, para promover su reflexión sobre este tipo de aprendizaje (Pilitsis & Duncan, 2012). La meta es que los participantes cuenten con una experiencia previa sobre los rasgos vinculados a la indagación (roles del profesor y del alumnado, características de los problemas, contribución

al desarrollo de competencias, emociones, desafíos...) y de esta forma se decidan a incorporar estas actividades, vinculadas a un modelo didáctico alternativo, en su futura práctica.

3.2. Preguntas de investigación. Objetivos

La finalidad del estudio se concreta en *dos preguntas de investigación* que, a su vez, se subdividen en *objetivos* más específicos. Los aspectos a analizar se articulan de la siguiente manera:

- **Primera pregunta de investigación:** «¿Cuál es el efecto de una propuesta formativa para las asignaturas de didácticas específicas en un grupo de futuros profesores de física y química?»

La pregunta se responde a través de tres objetivos:

- **Objetivo 1:** Justificar los componentes del programa formativo de didácticas específicas orientado a favorecer la construcción de Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC).
 - **Objetivo 2:** Comprobar la eficacia de la propuesta formativa en términos de evolución en las creencias profesionales de los futuros docentes.
 - **Objetivo 3:** Caracterizar la visión final de los futuros profesores sobre el problema profesional: «¿Cómo se pueden diseñar actividades de enseñanza-aprendizaje para una Unidad Didáctica?»
- **Segunda pregunta de investigación:** «¿Cómo es el desarrollo de la competencia científica y el aprendizaje sobre las características de la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI) por parte de los futuros profesores, a raíz de resolver problemas abiertos escolares en la asignatura de Didáctica de la Química?»

La pregunta se concreta en los tres siguientes objetivos:

- **Objetivo 4:** Analizar el nivel de competencia de los futuros profesores en la resolución de los problemas sobre cambios físicos y químicos.
- **Objetivo 5:** Identificar la visión asumida por los futuros profesores sobre la implementación de la MRPI en Educación Secundaria.
- **Objetivo 6:** Ejemplificar la transferencia de la MRPI a Educación Secundaria durante las prácticas docentes.

Debido a la estructura de esta memoria como compendio de publicaciones, la Tabla 3.1 mostrada a continuación describe cómo se distribuyen los objetivos en los artículos publicados e inéditos (ver Figura 1.1, pág. 7) que conforman la investigación.

		Art. 1 (P) *	Art. 2 (P)	Art. 3 (P)	Art. 4 (P)	Art. 5 (I) *	Art. 6 (P)	Art. 7 (I)	Art. 8 (I)
Didáctica de la Química y de la Física	OBJETIVO 1	✓							
	OBJETIVO 2					✓			
	OBJETIVO 3						✓		
Didáctica de la Química	OBJETIVO 4		✓	✓					
	OBJETIVO 5						✓	✓	✓
Practicum	OBJETIVO 6				✓			✓	

* P: artículo publicado y perteneciente al *compendio*; I: artículo inédito

Tabla 3.1. Distribución de los objetivos generales en los ocho artículos que componen la investigación

La Tabla 3.1 muestra que, para realizar la discusión global de los resultados –requisito de esta modalidad de tesis doctoral–, algunos de los objetivos demandan triangular las evidencias obtenidas en varios de los artículos. Igualmente, los resultados de un mismo artículo pueden servir para abordar varios de los objetivos generales.

La tabla también recoge las asignaturas del Máster en las que se desarrollan estas metas.²² En *rojo* se indican los objetivos vinculados al planteamiento general de Didáctica de la Química y Didáctica de la Física, tanto en lo relativo a su fundamentación como a su eficacia para promover la evolución de las creencias profesionales de los participantes. En *verde* se señalan los objetivos asignados específicamente a la MRPI, la metodología indagativa trabajada de forma expresa en la asignatura de Didáctica de la Química. Estas metas corresponden al análisis de la competencia científica de los futuros profesores en la resolución de los problemas abiertos, y a su percepción final sobre la aplicabilidad de la MRPI en Educación Secundaria. Finalmente, en *azul* se indica el objetivo relacionado con la transferencia del aprendizaje sobre este método indagativo al Practicum.

3.3. Roles del autor de la tesis

Dado que la investigación abarca diversos momentos del desarrollo de las asignaturas e incluye un objetivo vinculado al Practicum, resulta oportuno explicitar los roles del autor de la tesis doctoral en las distintas etapas formativas.

En primer lugar, cabe decir que el *Objetivo 6* –relativo al Practicum y abordado en el Artículo 4– en realidad podría tomarse como «punto de partida» del trabajo del investigador. Este artículo corresponde a un análisis posterior del trabajo como *profesor en prácticas* del propio autor en el IES Cardenal Cisneros (Madrid). La labor docente se lleva a cabo tras haber cursado el Módulo Específico del Máster y una propuesta de aprendizaje

²² Se recomienda volver a la Figura 1.1 de la pág. 7 para tener una mejor visión del conjunto de objetivos específicos de la tesis.

sobre la MRPI análoga a la de los Artículos 2 y 3 de la tesis. De este modo, además de servir de ejemplo sobre la transferencia de la propuesta al Practicum, este trabajo justifica la labor del autor como observador participante e investigador en las sucesivas ediciones del Máster.

Los *Objetivos 1–3* corresponden a la justificación y al desarrollo general de la propuesta formativa para las asignaturas de Didáctica de la Química y de la Física. El autor asume un rol de *observador participante*, asistiendo a las clases e interviniendo en momentos determinados para guiar la resolución de los problemas profesionales. Además, participa de forma activa en el diseño de la investigación sobre las creencias y en el análisis derivado, y ejerce de entrevistador en el estudio del Artículo 6.

En relación a los *Objetivos 4–5*, vinculados al aprendizaje y reflexión sobre la MRPI por parte de los futuros profesores, el autor de la tesis colabora en la orientación del desarrollo de las estrategias experimentales para que los participantes resuelvan los problemas abiertos de química. Además, asume un papel activo en el análisis de los informes finales de los participantes, y participa en todo el diseño y desarrollo de la investigación sobre la percepción de los futuros profesores acerca de la MRPI.

Haciendo un paréntesis en el desarrollo del capítulo, se puede afirmar que la variedad de roles formativos e investigativos asumidos por el estudiante de doctorado, han supuesto una formación de enorme valía para su futuro en el campo de la educación.

3.4. Muestras del estudio

Los participantes en la investigación son estudiantes de la especialidad de física y química del Máster en Formación del Profesorado de Secundaria de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). La concreción de la Orden ECI/3858/2007 (reguladora de la titulación de postgrado) para el caso de la UCM se expuso previamente en la Tabla 2.4 (pág. 23). El aspecto más relevante para el estudio es que la materia de «Aprendizaje y Enseñanza de la Química y la Física» se subdivide en dos asignaturas de 5 créditos ECTS, estrechamente coordinadas e impartidas de forma consecutiva: *Didáctica de la Química* y *Didáctica de la Física*. Estas materias, objeto de la tesis doctoral, se desarrollan en el periodo temporal octubre/enero, de forma simultánea con el resto de asignaturas de los módulos genérico y específico del Máster.

Los datos para la investigación se recaban fundamentalmente durante el curso 2015/16. Asimismo, en relación con el Objetivo 2 –sobre la evolución en las creencias profesionales– se considera la implementación de la propuesta, con los mismos formadores y programa, a lo largo del año 2014/15. Los datos generales de ambos grupos-clase de futuros profesores se muestran en la Tabla 3.2.

Curso	2014/15	2015/16
Número de estudiantes y edad media	27 estudiantes (media: 27.7 años)	25 estudiantes (media: 27.6 años)
Distribución por sexos	10 mujeres (37%) y 17 hombres (63%)	13 mujeres (52%) y 12 hombres (48%)
Distribución por titulaciones iniciales	10 químicos (37%), 9 físicos (33%) y 8 con otras titulaciones (30%): 3 ing. caminos, 1 ing. montes, 1 ing. industrial, 1 ing. químico, 1 ing. materiales, 1 graduado en farmacia	10 químicos (40%), 9 físicos (36%) y 6 con otras titulaciones (24%): 2 ing. industriales, 2 graduados en ciencia/tecnología de alimentos, 1 ing. civil y 1 arquitecto
Estudiantes con titulaciones complementarias	8 estudiantes con otra titulación de Máster (30%), y 1 estudiante con Doctorado (4%)	8 estudiantes con otra titulación de Máster (32%), y 2 estudiantes con Doctorado (8%)
Estudiantes que han tenido contacto con la docencia	18 estudiantes (67%), sobre todo en academias o clases particulares	19 estudiantes (76%), sobre todo en academias o clases particulares

Tabla 3.2. Características de los grupos-clase con los que se implementa la propuesta en dos promociones consecutivas

Los distintos estudios que componen la tesis doctoral se llevan a cabo con los grupos-clase al completo o con selecciones (intencionadas o incidentales) de estas muestras. Estas características se muestran en la Tabla 3.3, que recoge el tipo de muestra correspondiente a cada objetivo de investigación. En el caso de las submuestras particulares, sus características específicas se describen en los artículos de la tesis.

Objetivo	Muestra específica de estudiantes del Máster	Promoción
1	Justificación de la propuesta	
2	• Grupos-clase al completo	2014/15 2015/16
3	• 2 estudiantes asignados al modelo didáctico tradicional • 2 estudiantes asignados al modelo didáctico constructivista	2015/16
4 *	• 17 informes en el problema inicial (contacto) • 24 informes en el problema final (calentar)	2015/16
5	• 24 estudiantes para el análisis <i>cuantitativo</i> • 2 + 2 estudiantes asignados a los respectivos modelos didácticos para el análisis <i>cualitativo</i>	2015/16
6	<i>El autor de la tesis como profesor en prácticas</i> • 19 escolares de 4º de ESO del IES Cardenal Cisneros (asignatura de Ampliación de Física y Química)	2011/12

* Los informes sobre el problema inicial entregados a tiempo fueron menos que los correspondientes al problema final

Tabla 3.3. Muestras específicas de futuros profesores consideradas para los objetivos de la tesis

3.5. Aspectos generales de la investigación

El estudio pertenece al campo de la didáctica de las ciencias experimentales y presenta matices de *investigación social*, pues analiza las acciones, razonamientos, ideas, etc., de los sujetos en su contexto local (Somekh et al., 2011). Además, podría considerarse como *estudio de caso*, al tratarse de un análisis intensivo de un fenómeno en un contexto específico.

El enfoque del «estudio de caso» asume que la realidad de un cierto contexto se crea a través de múltiples interacciones sociales. En palabras de Yin (1994), esta metodología corresponde a una «investigación empírica sobre un fenómeno contemporáneo dentro de un contexto real, cuando los límites entre el fenómeno y el contexto no son evidentes» (p. 13). Los estudios de caso derivan de otras disciplinas, como la psicología, sociología o historia y, según Walker (2002), entre sus características incluyen: *i)* el tamaño reducido de las muestras, *ii)* su carácter de investigación holística y *iii)* el empleo de la triangulación de los resultados.

Estos últimos rasgos se ajustan muy bien a esta modalidad de tesis doctoral, donde los estudios más específicos se presentan en formato revista, y su triangulación y análisis global se discuten en los dos últimos capítulos. En este sentido, se opta por utilizar técnicas de análisis de tipo cualitativo (análisis de contenido) y cuantitativo (estadística no paramétrica), tanto en el estudio de la evolución en las creencias profesionales de los futuros profesores como en su aprendizaje sobre la indagación como estrategia didáctica. Los instrumentos y técnicas utilizadas se discuten en los siguientes apartados.

3.6. Instrumentos y técnicas de recogida de datos

Debido a la naturaleza cualitativa y cuantitativa de los resultados a obtener, se recurre a distintos tipos de instrumentos para recabar los datos. La Tabla 3.4 presenta estos instrumentos e indica el momento formativo en que utilizan: inicio, desarrollo o final de las asignaturas de didáctica. Sus características fundamentales son:²³

- Cuestionario de *Pensamiento Curricular y Profesional* (Anexo 1), utilizado a modo de pretest y postest. Se elabora a partir del instrumento más amplio diseñado por Martínez-Aznar et al. (2001) y consta de 30 ítems, con escala de Likert 1–5 repartidos en dimensiones sobre: contenidos, metodología («desarrollo de la enseñanza» y «participación y adaptación al alumno»), evaluación y percepción profesional («del rendimiento escolar» y «de la formación del profesor»). Su nuevo proceso de validación se describe en el Artículo 5 de la tesis y en el capítulo 7 de discusión global de los resultados.

²³ Los artículos de la tesis describen los instrumentos de forma más exhaustiva.

- *Informes* sobre la resolución de situaciones problemáticas escolares, donde se siguen las 5 fases o dimensiones competenciales de la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI). Para facilitar estos procesos, se proporciona una *plantilla* (Anexo 2) que especifica las destrezas incluidas en las distintas etapas de la MRPI.
- *Entrevistas semiestructuradas*, donde se indaga sobre la visión asumida acerca del problema profesional del uso y diseño de actividades escolares y, de forma más específica, sobre la percepción de los futuros profesores acerca de la aplicabilidad de la MRPI en Educación Secundaria. Su guion se muestra en el Anexo 3.
- Cuestionario de *Visión sobre la Aplicabilidad de la MRPI* (Anexo 4), utilizado para recabar la percepción del grupo-clase sobre las fortalezas y debilidades de la MRPI de cara a su posible traslado a la Educación Secundaria. El instrumento se adapta de la versión previa mostrada en Varela (1994), Ibáñez (2003) o Pavón y Martínez-Aznar (2014), y consta de 14 ítems tipo Likert (escala 1–5), asociados a las dimensiones sobre: el alumno, el currículo, el profesor y la transposición de la MRPI a otros contextos diferentes.

Objetivo	Instrumentos	Momento de las asignaturas		Destinatarios
		PRE	→ POST	
1	Justificación de la propuesta			
2	• Cuestionario de «Pensamiento Curricular y Profesional»	✓	✓	2014/15 2015/16
3	• Entrevistas semiestructuradas sobre la MRPI y el problema profesional sobre el uso/diseño de actividades escolares		✓	2015/16
4	• Informes de resolución sobre los problemas abiertos, siguiendo las 5 fases o dimensiones competenciales de la MRPI	✓		2015/16
5	• Cuestionario de «Visión sobre la Aplicabilidad de la MRPI» • Entrevistas semiestructuradas sobre la MRPI y el problema profesional sobre el uso/diseño de actividades escolares		✓ ✓	2015/16
6	• Informes de resolución sobre los problemas abiertos, siguiendo las 5 fases o dimensiones competenciales de la MRPI			2011/12

FUTUROS PROFESORES

4º ESO

Tabla 3.4. Instrumentos y técnicas de recogida de datos para abordar los objetivos

3.7. Técnicas de análisis de resultados

A tenor de lo ya comentado, el desarrollo de la investigación requiere utilizar diferentes técnicas de análisis, de tipo cualitativo y cuantitativo, para abordar los objetivos planteados.

Las técnicas de tipo **cuantitativo** corresponden al análisis de los cuestionarios, e incluyen la obtención de parámetros descriptivos (medias, desviaciones típicas, medianas, etc.) y la aplicación de tests de hipótesis de tipo no paramétrico (estadística inferencial). Estas pruebas son:

- Test de los rangos con signo de Wilcoxon (Z), cuya hipótesis nula es que «no hay diferencias significativas entre las creencias de los participantes en el pretest y el postest». Esta hipótesis se rechaza si $*p < 0.05$, $**p < 0.01$ o $***p < 0.001$, con un nivel de confianza del 95%, 99% y 99.9%, respectivamente.
- Test de la U de Mann-Whitney, utilizado para comparar las percepciones de dos submuestras diferentes en un momento determinado. Su hipótesis nula es que «los dos grupos comparados son homogéneos», que se rechaza si $*p < 0.05$, $**p < 0.01$ o $***p < 0.001$, aceptándose la hipótesis alternativa sobre la existencia de diferencias significativas.

Además, para “cuantificar” la magnitud del cambio en las creencias, se calcula el *tamaño del efecto* utilizando el indicador propuesto por Field (2009) o Pallant, (2010) para la estadística no paramétrica. Los valores del tamaño del efecto, r , se obtienen a partir de:

$$r = \frac{Z}{\sqrt{n_x + n_y}}$$

donde Z es el parámetro de Wilcoxon y $n_x - n_y$ corresponden al número de participantes en cada caso (aquí r se utiliza para dos muestras relacionadas, pretest y postest, de igual tamaño).

Asimismo, en el capítulo 7 de discusión global de resultados, se recurre a un *escalamiento multidimensional* de los datos (MultiDimensional, Scaling, MDS), combinado con un *análisis de clúster* para indagar sobre cómo “modelizan” los futuros profesores el conjunto de creencias del cuestionario. El MDS se basa en la comparación de objetos o estímulos, de modo que si un individuo juzga a los objetos 1 y 2 como los más parecidos, entonces aparecerán representados en un «mapa perceptual» manteniendo una *distancia* entre ellos más pequeña que la correspondiente a cualquier otro par de objetos (Álvarez, Cepero, Arce & Perales, 2013; Hair, Anderson, Tatham & Black, 1995). Por ello, el método proporciona una representación gráfica sin recurrir a la interpretación del investigador, y ayuda a conocer las dimensiones que utilizan los participantes al evaluar los objetos, y cómo estos son relacionados perceptualmente. En concreto, en la tesis se utiliza un *MDS*

indirecto o derivado, donde los objetos se comparan indirectamente a través de la percepción de sus características –puntuaciones de las proposiciones en la escala de Likert– (Pontes, Poyato & Oliva, 2016).

En relación a los resultados del pretest y el postest, se siguen los siguientes pasos:

1. Se aplica el método de Ward a través de SPSS v.24 para determinar el número de clusters al que mejor se ajusta el conjunto de resultados.²⁴
2. Las variables (proposiciones del cuestionario) son asignadas a uno de los clusters a través del algoritmo «K-Means Cluster», que procura lograr la máxima homogeneidad entre los objetos de un mismo grupo y la mayor diferencia entre los objetos de grupos diferentes (Cortés, Montoro, Jiménez-Liso & Gil-Cuadra, 2016).
3. Se aplica el algoritmo de escalamiento ALSCAL (SPSS v.24), utilizando como parámetro la distancia euclídea al cuadrado. Se identifican los clusters previamente asignados sobre las representaciones bidimensionales obtenidas (Pontes et al., 2016)
4. Por último, se procede a interpretar las 2 dimensiones obtenidas, para lo cual resulta útil considerar los puntos extremos (Álvarez et al., 2013).

Las técnicas de tipo **cualitativo** corresponden al análisis de los informes sobre la resolución de los problemas abiertos y al estudio de las entrevistas semiestructuradas realizadas en el momento final de las asignaturas.

En el último caso, se sigue un enfoque de *análisis del contenido* (Bardín, 1996; Fraenkel, Wallen & Hyun, 2015) facilitado por el software ATLAS.ti v.7. El proceso asumido es el de seleccionar las reflexiones vinculadas al uso y diseño de actividades escolares y, de forma específica, aquellas asociadas a la MRPI. A continuación, se sigue un proceso de *categorización* de las unidades de información en dimensiones principales y secundarias, que se somete a juicio de expertos.

En relación con el análisis de los informes, se establecen unos *niveles de resolución* para las distintas dimensiones competenciales incluidas en la MRPI (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005; Varela & Martínez-Aznar, 1997a). Para definirlos, se tiene en cuenta lo que cabe esperar como resolución satisfactoria en cada problema, según sean las características de los estudiantes y el andamiaje proporcionado. Además, para tener una visión más global de lo sucedido, se definen dos *indicadores de logro*, para conocer el éxito (en términos comparativos) en las dimensiones de la competencia científica (Martínez-Aznar & Varela, 2009; Pavón & Martínez-Aznar, 2014). El *Indicador de Logro 1* (IL1), con rango entre -1 y +1, se calcula a través de la diferencia entre el número de producciones en los niveles de resolución superiores y las asignadas a los niveles inferiores, todo ello dividido

²⁴ Se sigue el procedimiento detallado en el tutorial: <http://www.mvsolution.com/wp-content/uploads/SPSS-Tutorial-Cluster-Analysis.pdf>

entre el número total de estudiantes. El *Indicador de Logro 2* (IL2) corresponde al nivel medio alcanzado por los estudiantes en cada dimensión competencial.

Finalmente, en el capítulo 7 de discusión global de resultados, se desarrolla un análisis de tipo descriptivo cualitativo (análisis de contenido) sobre varias de las dimensiones de la competencia científica incluidas en la MRPI. Para ello, a partir de los informes de los estudiantes, se infieren mapas conceptuales y esquemas (Domínguez-Castiñeiras, Pro & García-Rodeja, 1998; Novak & Cañas, 2007), que reflejan el tipo de representaciones cualitativas y análisis de resultados aportados por los futuros profesores en su resolución de los problemas sobre los cambios físicos y químicos.

La Tabla 3.5 supone una síntesis de las técnicas de análisis descritas y, en general, de todo el capítulo. Se relacionan los objetivos, los artículos donde se abordan, los instrumentos de recogida de datos y estas últimas técnicas de análisis.

Objetivo	Comprobación	Instrumentos	Técnicas de análisis
1 (Art. 1)	<i>Justificar los componentes del programa formativo, orientado a favorecer la construcción de CDC</i>		
2 (Art. 5)	Determinación de las creencias iniciales y finales	→	<ul style="list-style-type: none"> • Estadística descriptiva: porcentajes de respuesta, medias y desviaciones típicas
	Evolución en las creencias “Modelización” de las creencias (agrupación de ítems)	Cuestionario de «Pensamiento Curricular y Profesional» →	<ul style="list-style-type: none"> • Estadística inferencial, no paramétrica: prueba de los rangos con signo de Wilcoxon (Z) y tamaño del efecto (r) • Escalamiento multidimensional (algoritmo ALSCAL, SPSS v.24) y análisis de clúster (método de Ward)
3 (Art. 6)	Visión final sobre el problema profesional acerca de las actividades escolares	Entrevistas semiestructuradas	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis del contenido con ATLAS.ti v.7
4 (Art. 2,3)	Competencia científica de los futuros profesores (MRPI)	Informes de resolución sobre los problemas abiertos	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis descriptivo: asignación de niveles a las dimensiones competenciales y cálculo de indicadores de logro • Análisis del contenido: elaboración de mapas conceptuales y esquemas
5 (Art. 6,7,8)	Visión asumida sobre la aplicabilidad de la MRPI en Educación Secundaria	Cuestionario de «Visión sobre la Aplicabilidad de la MRPI»	<ul style="list-style-type: none"> • Estadística descriptiva: medias, desviaciones típicas y medianas • Estadística inferencial: prueba de la U de Mann-Whitney según creencias, titulaciones y logros en resolución de problemas
		Entrevistas semiestructuradas	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de contenido con ATLAS.ti v.7
6 (Art. 4,7)	Competencia científica de los alumnos de 4º de ESO	Informes de resolución sobre los problemas abiertos	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis descriptivo: asignación de niveles a las dimensiones competenciales y cálculo de indicadores de logro

Tabla 3.5. Relación entre objetivos, artículos, comprobaciones a realizar, instrumentos de recogida de datos y técnicas de análisis

Capítulo 4

Propuesta Formativa para las Asignaturas de Didáctica

4. PROPUESTA FORMATIVA PARA LAS ASIGNATURAS DE DIDÁCTICA

Desde la didáctica de las ciencias se reclaman programas específicos que posibiliten la formación inicial de profesores de Secundaria. Estas propuestas deben estar sólidamente fundamentadas y posibilitar una preparación dentro de los cánones consensuados, actualmente, por esta comunidad científica.

Este capítulo contiene el Artículo 1 de la tesis doctoral, donde se presenta una propuesta formativa para las asignaturas de Didáctica de la Química y Didáctica de la Física que cumple con dichos requisitos: 1) Está basada en la construcción de Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), con la intención de favorecer que los estudiantes del Máster, especialistas en sus correspondientes disciplinas científicas, puedan convertirse en maestros de las mismas; 2) Su desarrollo está centrado en la resolución de problemas profesionales para posibilitar, a los futuros docentes, la construcción de sus competencias profesionales, y afrontar la enseñanza en la Educación Secundaria; 3) Adoptan metodologías indagativas, en concreto de tipo PBL, para permitir que los futuros profesores tengan experiencias personales de aprendizajes con tareas semejantes a las que resuelven los escolares de la ESO.

Para lograr el éxito de la propuesta, el papel de los formadores/profesores de didáctica resulta fundamental: constituyen un modelo de cómo facilitar y orientar los aprendizajes y además, proporcionan ejemplificaciones de los currículos escolares, en este caso en el formato de Unidades Didácticas.

Todos estos presupuestos formativos se concretan en la elaboración de Unidades Didácticas por parte de los estudiantes del Máster, como producto final de las asignaturas y de acuerdo con un Modelo desarrollado al efecto en la UCM.

En las siguientes páginas se presentan los principios que rigen estas asignaturas, la secuencia temporal para su desarrollo, ejemplos de las actividades llevadas a cabo, y una propuesta de andamiaje para la resolución de un problema abierto de química de 3º de ESO. De esta forma, el artículo presentado contribuye al desarrollo del *Objetivo 1* de la tesis doctoral: «Justificar los componentes del programa formativo de didácticas específicas orientado a favorecer la construcción de Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC)».

Artículo 1 (*publicación del compendio*)

Martínez-Aznar, M.M., Rodríguez-Arteche, I. & Gómez-Lesarri, P. (2017). La resolución de problemas profesionales como referente para la formación inicial del profesorado de física y química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 162–180. DOI: 10498/18854. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18854>

Artículo 1

La resolución de problemas profesionales como referente para la formación inicial del profesorado de física y química

La resolución de problemas profesionales como referente para la formación inicial del profesorado de física y química

M^a Mercedes Martínez-Aznar^{1,a}, Iñigo Rodríguez-Arteche^{1,b}, Patricio Gómez-Lesarri^{2,c}

¹Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Educación–C.F.P., Universidad Complutense de Madrid. España.

²IES Ramiro de Maeztu. Madrid. España.

^amtzaznar@ucm.es, ^binigo.rodriguez.a@gmail.com, ^cpatriciogomezlesarri@gmail.com

[Recibido en abril de 2016, aceptado en septiembre de 2016]

La investigación en didáctica de las ciencias ha dado cuenta de múltiples propuestas y actividades para la formación científica de escolares de distintos niveles, pero la situación es distinta para la formación didáctica de los futuros profesores, y en especial para los de Secundaria. Con la intención de paliar estas carencias, este trabajo presenta una experiencia fundamentada de desarrollo de las asignaturas de *Didáctica de la física y de la química* del Máster en Formación del Profesorado de Secundaria (MFPS), y aporta su temporalización específica y la descripción de una serie de actividades que consideramos útiles para la formación inicial del profesorado. Esta propuesta, que parte de las creencias y concepciones alternativas, se centra en la construcción del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) de los futuros profesores a través de la resolución de problemas profesionales contextualizados, y para ello se utiliza como herramienta reflexiva el diseño de *Unidades Didácticas*.

Palabras clave: formación inicial del profesorado de secundaria; conocimiento didáctico del contenido; aprendizaje basado en problemas; unidades didácticas.

Resolution of professional problems as a guide for initial physics and chemistry teacher training

Research in science education has given rise to a variety of proposals and activities for students at different school levels. However, this is not the case for the educational training of future teachers, especially for Secondary Education. With the intention of contributing to this issue, this paper presents a grounded experience for the development of the *Physics and Chemistry Education* subjects of the Spanish Master's in Secondary Education. As such, we incorporate their specific schedules, together with a series of useful activities for the teacher training process. Starting with the future teachers' beliefs, this proposal is based on their construction of Pedagogical Content Knowledge by solving contextualized professional problems. With that purpose, the design of *Teaching Units* is considered as a reflective tool in the process.

Keywords: preservice secondary teacher education; pedagogical content knowledge; problem-based learning; teaching units.

Para citar este artículo: Martínez-Aznar, M.M., Rodríguez-Arteche, I. y Gómez-Lesarri, P. (2017). La resolución de problemas profesionales como referente para la formación inicial del profesorado de física y química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (1), 162-180. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18854>

Introducción

Como consecuencia de la convergencia reflejada en el Espacio Europeo de Educación Superior (EESS) y para contribuir a una renovación de la enseñanza, España cuenta con el Máster en Formación del Profesorado de Secundaria (MFPS). Esta titulación de carácter profesionalizante fue calurosamente recibida por la comunidad dedicada a la formación de profesores y a la enseñanza de las ciencias, a pesar de no colmar todas sus expectativas (Benarroch, 2011). Así, desde el curso 2009/10 distintos departamentos universitarios corren al cargo de su docencia para promover la construcción del conocimiento profesional del profesorado.

La implantación y desarrollo del máster ha sido objeto de diversos estudios, algunos de los cuales han dado lugar a un número monográfico en esta revista. Sin embargo, se viene constatando una escasez de trabajos sobre materiales y programas específicos de actividades dirigidos a la formación didáctica de los futuros docentes (Rivero, Martínez-Aznar, Pontes y Oliva, 2014; Jiménez-Tenorio y Oliva, 2016), referencias que serían de especial utilidad para los agentes implicados en el máster.

Marco teórico

Hablar del MFPS requiere abordar la *profesionalidad docente*, que tiene un rasgo identificador que se refiere a la naturaleza del *conocimiento experto* que determina en los profesores el reconocimiento de pertenencia a un grupo legitimado social y epistemológicamente. Por ello, este conocimiento es un elemento fundamental que debe orientar el programa de formación, pero su determinación está claramente vinculada a las creencias sobre el trabajo del profesorado (Feiman-Nemser, 2001) y, consecuentemente, a las orientaciones formativas correspondientes. Este hecho invita a la reflexión y al debate sobre si el tipo de conocimiento que conforman los actuales programas de las Facultades es el deseable o no (Guisasola, Barragués y Garmendia, 2013; Perales *et al.*, 2014). En este sentido, Roth y Tobin (2001) hacían alusión a una «explosión» de conocimientos sobre teorías e investigación educativas incorporadas a los currículos a lo largo del s. XX, que agudiza si cabe la permanente controversia sobre lo que deben saber los profesores, cómo deben percibir el aprendizaje de sus alumnos y cómo deben ser formados y educados.

En relación con los *componentes y/o elementos de este conocimiento* y su naturaleza, existe un cierto consenso al incluir los conocimientos: del contexto, psicopedagógico, del contenido y didáctico del contenido (Shulman, 1987; Grossman, 1990; Nilsson, 2008). En primer lugar, como argumenta Hatch (1999), el formador tiene la obligación moral de incluir en sus programas el análisis de la enseñanza como trabajo, y abordar las condiciones en que se realiza el trabajo docente: el aula, el aprendizaje sobre las diversas culturas de los estudiantes, las tomas de decisiones docentes, el incremento en sus responsabilidades, etc. Asimismo, la psicología y pedagogía proporcionan información relevante para que el profesor pueda adecuar la materia objetivo de estudio a las diferentes edades y características de sus estudiantes.

Pasando ya a los elementos más estrechamente vinculados a las didácticas específicas, el *conocimiento del contenido* (CC) disciplinar es un componente del conocimiento del profesor asumido popularmente como «el principal». Este CC se refiere a la cantidad, calidad y organización de la información sobre las materias a enseñar (Zeidler, 2002), e incluye elementos *sintácticos* (aspectos ligados a la investigación, los problemas que originan la construcción del cuerpo de conocimiento y sus obstáculos epistemológicos, las interacciones CTSA y STEM...) y *sustantivos* (sobre el cuerpo de conocimiento disciplinar, incluyendo la habilidad del profesor para seleccionar contenidos relevantes y asequibles).

Diversas investigaciones han comprobado la necesidad profesional de poseer una comprensión conceptual profunda de los contenidos a enseñar, y que un CC fragmentado y pobremente organizado hace difícil acceder a este conocimiento durante la enseñanza y reconocer las dificultades conceptuales de los estudiantes (Nilsson, 2008; Käpylä, Heikkinen y Asunta, 2009). Sin embargo, a pesar de la importancia del CC, desde antiguo se ha sugerido su insuficiencia para explicar las estrategias docentes finalmente utilizadas por los profesores (Gess-Newsome y Lederman, 1995; Käpylä *et al.*, 2009). Por ello, resulta necesario considerar un constructo inicialmente desarrollado por Shulman, el *Conocimiento Didáctico del Contenido*

(CDC), que de acuerdo con otros autores (Abell, 2008; Hume y Berry, 2011; Garritz, 2013) se considera de gran utilidad para la formación inicial del profesorado.

Shulman (1986; 1987) definió el CDC (en inglés Pedagogical Content Knowledge o PCK) como la forma de representar el conocimiento disciplinar para que el alumnado pueda comprenderlo, identificándolo como una entidad que alcanza la dimensión de conocimiento disciplinar *para la enseñanza*, y que complementa la idea de «transposición didáctica» previamente introducida por Chevallard (1985). De esta forma, el CDC debe surgir de la integración del conocimiento sobre las materias a enseñar con otros propios de las disciplinas pedagógicas y, principalmente, de las didácticas específicas.

Inicialmente, Shulman distinguió dos componentes básicos del CDC: el conocimiento de un profesor sobre cómo aprende el alumnado y el relativo a la enseñanza de contenidos concretos (Acevedo, 2009), elementos que implican comprender aquello que los estudiantes encuentran confuso o difícil, además de un conocimiento de las analogías y otras formas de representación de los conceptos y procesos disciplinares. Ya en años posteriores, otros autores realizaron aportaciones al modelo propuesto inicialmente por Shulman. Así, Magnusson, Krajcik y Borko (1999), sobre un trabajo previo de Grossman (1990), pasaron a incluir cinco componentes del CDC: (i) conocimiento de los currículos científicos, (ii) comprensión de la ciencia por parte de los estudiantes, (iii) estrategias de enseñanza, (iv) evaluación y (v) las finalidades y objetivos que se pretenden con la enseñanza de las ciencias. Magnusson y otros (1999) se refirieron al aspecto (v) como «orientaciones hacia la enseñanza de las ciencias», que corresponde a una idea de gran trascendencia en la investigación educativa: las «creencias profesionales». Además, Park y Oliver (2008), a partir de un análisis del rendimiento escolar, propusieron la *autoeficacia del profesor* como un sexto componente del CDC de tipo afectivo.

Estos y otros estudios han ido enriqueciendo la comprensión del CDC, posibilitando el desarrollo de modelos explicativos sobre su formación (Gess-Newsome, 1999), así como de herramientas y procedimientos para su identificación (Van der Valk y Broekman, 1999; Loughran, Mulhall y Berry, 2008; Alonzo y Kim, 2016). De esta forma, el CDC es un conocimiento de gran actualidad en la investigación educativa, donde a pesar de la existencia de ciertos debates, se detectan consensos sobre algunas de sus características fundamentales –recogidos, p. ej., en las revisiones de Acevedo (2009) y Garritz (2013)–. Se destaca la fuerte vinculación entre su desarrollo, la *práctica* docente y la *reflexión* asociada, su carácter *implícito*, su *especificidad* en relación a la enseñanza de contenidos específicos en contextos particulares, la *integración* de sus constituyentes en la planificación y práctica docentes, su naturaleza *activa* y *dinámica*, y su carácter *transformador* para la mejora de otros tipos de conocimiento.

Además, según diversos autores (p. ej., Abell, 2008; Loughran *et al.*, 2008), la construcción del CDC comienza en la formación inicial, es decir, resulta un conocimiento útil para el desarrollo de programas formativos. Ello supone promover situaciones sobre contenidos específicos y contextualizados que permitan a los futuros profesores reflexionar expresamente sobre cómo se desarrollarían dichos contenidos en la práctica docente (Käpylä *et al.*, 2009; Garritz, 2013), tomando como punto de partida el análisis de las propuestas o actuaciones de los formadores (como ejemplos de autoridad docente). Así, la literatura nos informa de programas formativos como los de Hume y Berry (2011) y Bertram (2014) que consideran prioritario el desarrollo del CDC (en los casos anteriores, sobre temáticas de «química cuantitativa» y el «espacio»), y donde se proporcionan herramientas como las *Representaciones del Contenido* –o CoRes, Content Representations (Loughran *et al.*, 2008)– para promover la reflexión de los estudiantes.

En esta dirección, nuestra propuesta asume la conveniencia de seguir un enfoque basado en la investigación sobre *problemas prácticos profesionales*, para ir más allá de un planteamiento de tipo atomista basado en la presentación de distintos contenidos de didáctica de las ciencias

(Zemba-Saul, Blumenfeld y Krajcik, 2000; Goodnough y Hung, 2008; Porlán *et al.*, 2010; Guisasola *et al.*, 2013). En un trabajo anterior (Martínez-Aznar, Varela, Ezquerra y Sotres, 2013) mostramos una experiencia de desarrollo de las asignaturas de didáctica centrado en el diseño de Unidades Didácticas, por parte de los futuros profesores, como herramienta para promover la construcción de CDC sobre contenidos curriculares específicos de física y química. Ahora, en este artículo presentamos una propuesta renovada, que incorpora como novedad la descripción de los problemas profesionales, actividades, seminarios... considerados en el desarrollo de las asignaturas. Es aquí cuando retomamos la idea expuesta en la introducción, acerca de la conveniencia de disponer de trabajos en revistas de investigación acerca de planteamientos y actividades concretas destinadas a la formación docente, aspecto sobre el que pretendemos realizar una contribución en este estudio.

Objetivo

Este trabajo presenta una experiencia de desarrollo de las asignaturas de Didáctica de la Física (DF) y Didáctica de la Química (DQ) del MFPS, enmarcadas en el módulo específico de la especialidad correspondiente. El estudio se concreta en:

Describir una propuesta formativa de carácter constructivista e innovador, basada en la resolución de problemas profesionales y elaboración de Unidades Didácticas, con la finalidad de favorecer la construcción de conocimiento didáctico del contenido (CDC).

Contexto del estudio

La Tabla 1 recoge las asignaturas del título y su distribución temporal en nuestra Universidad, para la especialidad de física y química. El módulo genérico y las asignaturas de DF, DQ e Investigación, innovación y diseño curricular las imparten profesores de la Facultad de Educación–C.F.P., y las restantes del módulo específico profesores de las facultades de origen.

Tabla 1. Organización temporal de las asignaturas de la especialidad de física y química del MFPS de la Universidad Complutense de Madrid (4 ECTS corresponden a 2,5 horas de clase semanales, y 5 ECTS a 3 horas de clase semanales).

Periodo	Octubre – Enero (periodo de clases)	Febrero – Abril (periodo de Practicum)
Asignaturas	Módulo genérico:	
	Aprendizaje y desarrollo de la personalidad (4 ECTS)	
	Procesos y contextos educativos (4 ECTS)	
	Sociedad, familia y educación (4 ECTS)	
	Módulo específico:	Practicum (12 ECTS)
	Didáctica de la Física (DF) (5 ECTS)	
	Didáctica de la Química (DQ) (5 ECTS)	Trabajo Fin de Máster (6 ECTS)
	Investigación, innovación y diseño curricular (5 ECTS)	
	Las respuestas de la Física y la Química a los retos del mundo actual (5 ECTS)	
	Complementos de Física o Complementos de Química (según titulación inicial) (10 ECTS)	

Según la ORDEN ECI/3858/2007, de 27 de diciembre, los planes de estudio para las materias de *Aprendizaje y enseñanza de las materias correspondientes a la especialización* del MFPS (concretadas como DF y DQ en nuestro caso) deben incluir como mínimo las siguientes competencias: «Conocer los desarrollos teórico-prácticos de la enseñanza y el aprendizaje de las materias correspondientes. Transformar los currículos en programas de actividades y de

trabajo. Adquirir criterios de selección y elaboración de materiales educativos. Fomentar un clima que facilite el aprendizaje y ponga en valor las aportaciones de los estudiantes. Integrar la formación en comunicación audiovisual y multimedia en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Conocer estrategias y técnicas de evaluación y entender la evaluación como un instrumento de regulación y estímulo al esfuerzo» (pág. 53753). Así, la adquisición de estas competencias por parte de los futuros profesores debe guiar los programas que se diseñen al respecto.

Propuesta formativa para las asignaturas de didácticas específicas

Según se desprende del marco teórico presentado, la construcción del CDC se plantea a partir de la resolución de problemas profesionales, adoptándose una metodología indagativa con la intención de que el modelo formativo esté fuertemente vinculado al escolar propugnado para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias a nivel de secundaria (Comisión Europea, 2007). Ello se concreta en un enfoque activo de tipo «Problem/Project-Based Learning» —es decir, de tipo híbrido— (Prince y Felder, 2006), un método que ha mostrado su eficacia en otros programas de formación del profesorado (Steinkuehler, Derry, Hmelo-Silver y Delmarcelle, 2002; Goodnough y Hung, 2008). Así, el desarrollo de las asignaturas de didáctica incorpora una selección de problemas abiertos contextualizados en el trabajo docente —coherentes con las categorías del CDC de Magnusson *et al.* (1999)—, que permiten abordar los aspectos curriculares escolares: contenidos, competencias, metodología, evaluación... Estos problemas a su vez forman parte de un proyecto (Unidad Didáctica, UD) que integra todos los aspectos abordados en las asignaturas.

En términos generales, puede decirse que las asignaturas responden a los siguientes *principios*:

1. Se parte de las *creencias* del grupo-clase de futuros profesores acerca del proceso de enseñanza-aprendizaje (Solís, Martín del Pozo, Rivero y Porlán, 2013), considerando debates, cuestionarios o pruebas iniciales. Igualmente, las *concepciones alternativas* recogidas en la literatura sobre contenidos de física y química (que pueden manifestar los propios estudiantes de máster) son un punto de partida de la propuesta, en línea con el conocido como «principio de isomorfismo» en la formación docente (Martínez-Aznar *et al.*, 2001).
2. El trabajo se organiza en *grupos cooperativos* conformados desde el principio del curso por los formadores, con el criterio de que cada uno cuente con al menos un físico y un químico. En todo momento los profesores de didáctica asumen el rol de guía y orientador, interviniendo cuando lo requieren los diferentes grupos para analizar sus soluciones (que son compartidas en el gran grupo) y, si fuera pertinente, exponer aspectos diversos sobre los contenidos involucrados (Hmelo-Silver, Duncan y Chinn, 2007).
3. Se considera necesario que los futuros profesores *vivan en primera persona* el aprendizaje a través de actividades escolares innovadoras (secuencias de Problem-Based Learning, actividades de modelización, experiencias TIC...), que deben responder a un contexto curricular específico (Zemba-Saul *et al.*, 2000) para que pueda contrarrestarse una cierta percepción de «irrelevancia» de las estrategias desarrolladas durante la formación inicial del profesorado (Loughran *et al.*, 2008), e igualmente contribuir al desarrollo del CDC.
4. Las experiencias docentes de los futuros profesores son generalmente inexistentes (a lo sumo en clases particulares), por lo que en estos momentos iniciales la reflexión sobre la propia práctica es inviable. Sin embargo, este inconveniente puede superarse parcialmente contando con formadores con experiencia en el desarrollo de estrategias docentes innovadoras. Así, la *observación del rol de los formadores* al implementar actividades escolares novedosas incluidas en «UDs-ejemplo» (que los futuros profesores deben resolver) se

considera una pieza clave para comenzar el proceso constructivo del CDC. Además, estas oportunidades activas de aprendizaje podrían conllevar transformaciones en los conocimientos y creencias de los futuros profesores (Pecore, 2012).

5. La *elaboración de UD's escolares* para la ESO y Bachillerato según el «Modelo para la elaboración de Unidades Didácticas» (Martínez-Aznar *et al.*, 2013) –su índice se muestra en el [Anexo 1](#)–, constituye una herramienta reflexiva que permite contribuir al desarrollo del CDC sobre contenidos diferentes a los ejemplificados por los formadores, posibilitando además el desarrollo de destrezas organizativas en un proceso activo de aprendizaje. Estas UD's se exponen al finalizar el curso, y son parte primordial de la evaluación y calificación de las asignaturas. Además, cabe destacar la coherencia del Modelo con otros instrumentos que contribuyen a la explicitación del CDC, como pueden ser los «CoRes» (Loughran *et al.*, 2008) –nuestro modelo requiere una formulación precisa de las *competencias* que el alumno debe adquirir, como se analizará posteriormente– o la «preparación de lecciones» (Van der Valk y Broekman, 1999).

Sobre estos principios y la base estructural de nuestro trabajo anterior, la Tabla 2 recoge el planteamiento y calendario de las asignaturas en el último curso (2015-16). Según se aprecia, se distinguen sesiones *específicas* de Didáctica de la Física (DF) y Didáctica de la Química (DQ) –de 90 min de duración– y sesiones *comunes* de 3 horas de duración y a cargo de solo uno de los formadores. Esta organización es posible debido a la impartición consecutiva de ambas asignaturas, lo que facilita un mejor aprovechamiento del tiempo y el refuerzo de competencias a abordar. La información necesaria para que los estudiantes resuelvan los problemas profesionales y construyan los conocimientos sobre los contenidos didácticos de las asignaturas (artículos de investigación, materiales elaborados expresamente sobre aprendizaje, evaluación, selección de contenidos, etc., y «UD's-ejemplo» siguiendo el modelo elaborado para el máster) están a su disposición en el Campus Virtual.

La *sesión 1* se destina a la presentación de la asignatura: la titulación y el EEES, finalidad (en términos de competencias profesionales y de la ORDEN ECI/3858/2007), la enseñanza de la física y química en secundaria (Comisión Europea, 2007), el CDC como idea fuerza para la formación inicial de profesores, aspectos organizativos (sesiones de clase, campus virtual), contenidos, metodología de aula y evaluación.

Se distribuye y cumplimenta el cuestionario «Pensamiento Curricular y Profesional» –diseñado a partir del presentado en (Martínez-Aznar *et al.*, 2001)–, y después se identifican conjuntamente las dimensiones que contempla, y se abordan aquellos ítems que han resultado dudosos o llamativos. Haciendo un paréntesis, se puede indicar que los estudiantes reconocen no comprender que haya diferencia entre los contenidos escolares y el conocimiento científico, el que las ideas de los alumnos sean un conocimiento alternativo con el que deba trabajarse en el aula, y el que para ser profesor de F/Q haga (o no haga) falta ser graduado en física o química específicamente. Finalmente, el formador indica que al final del curso volverán a cumplimentar este cuestionario.

Seguidamente, se plantea la cuestión *¿qué deberían saber y ser capaces de hacer los profesores?* (Cochran-Smith, 2001), que se trabaja individualmente durante diez minutos y luego se reelabora en el grupo-clase. Con esta actividad se introducen los conocimientos profesionales, haciendo especial hincapié en el CDC, y la Didáctica de las Ciencias Experimentales como disciplina. Esto último es de gran relevancia pues los futuros profesores no tienen constancia de la existencia de una comunidad que investiga en temas relacionados con la enseñanza, el aprendizaje, la formación de profesores de ciencias, etc.

Tabla 2. Temporalización de las asignaturas de Didáctica, distinguiéndose sesiones comunes (C) de 3 horas y específicas (E) de 1,5 horas *para cada una de las didácticas*. En cursiva se indica los «problemas profesionales» que promueven el desarrollo de los contenidos. Las sesiones en que los estudiantes elaboran sus Unidades Didácticas están en sombreado.

Sesión	Contenidos y actividades a desarrollar	Organización
1	<ul style="list-style-type: none"> • Presentación de asignaturas (finalidad, competencias, metodología, evaluación, etc.) • Cuestionario inicial de creencias • <i>¿Qué deberían saber y ser capaces de hacer los profesores de física y química?</i> Conocimientos profesionales • Didáctica de las Ciencias Experimentales como disciplina 	C
2	<ul style="list-style-type: none"> • Organización de grupos y adjudicación de Unidades Didácticas • <i>¿Cómo diseñamos nuestra Unidad Didáctica? ¿Qué elementos debe contener?</i> • Modelo para la elaboración de Unidades Didácticas • Competencia científica 	C
3	Diseño de Unidades Didácticas: selección de contenidos.	E
4	• Selección de contenidos: transposición didáctica	C
5	• Teorías del aprendizaje: Constructivismo y cambio conceptual	C
6	<ul style="list-style-type: none"> • <i>¿Cómo se pueden seleccionar los contenidos para diseñar una Unidad Didáctica?</i> Ejemplificaciones 	E
7	Diseño de Unidades Didácticas: tipos de contenidos y sus relaciones. Competencias	E
8	• Las TIC como recurso para diseñar actividades	C
9	Diseño de Unidades Didácticas: elaboración de actividades.	E
10-16	• <i>¿Cómo se pueden diseñar actividades?</i> Ejemplificaciones	E
17	Diseño de Unidades Didácticas: reestructuración y ampliación de actividades	E
18	• La evaluación en las Unidades Didácticas. Finalidades e indicadores	C
19	• <i>¿Cómo se pueden evaluar las actividades y diseñar pruebas para una UD?</i> Ejemplificaciones	E
20	Diseño de Unidades Didácticas: evaluación de actividades y pruebas	E
21	Visita de dos profesores en ejercicio que plantean actividades para el contexto de centros tecnológicos, y para el programa de diversificación curricular / mejora del aprendizaje y del rendimiento	C
22	Trabajo cooperativo de recapitulación, revisión y finalización de las UD's • Cuestionario final de creencias	E
23-24	<i>Exposiciones orales de las Unidades Didácticas</i>	

En la *sesión 2* se sortea la temática de las Unidades Didácticas (UDs) de física y de química elegidas por los formadores (p. ej., «Las fuentes de energía: clave para el desarrollo sostenible», «Propiedades de las sustancias y enlace. Estudio experimental»...) que deberán diseñarse en los grupos cooperativos de trabajo. La intención es que durante el proceso de elaboración de las mismas se realice una transposición didáctica promovida por su reflexión. Cabe indicar que en cada asignatura se destina tiempo al desarrollo específico de las UD's (cada grupo debe diseñar una para DF y otra para DQ).

A continuación se plantean las preguntas: *¿cómo diseñamos nuestra Unidad Didáctica?, ¿qué elementos debe incluir?* Tras indicarse qué es una UD, los grupos plantean sus ideas y dudas respecto a las cuestiones anteriores. Generalmente se alude al uso de los libros de texto para seleccionar los contenidos y a la evaluación como la mayor preocupación, aunque esta se limita a contenidos conceptuales y mediante ejercicios. El paso siguiente es la presentación del «Modelo para la elaboración de Unidades Didácticas» como referencia para su diseño (Martínez-Aznar *et al.*,

2013). Además, por la novedad que supone a nivel curricular, se aborda y desarrolla el tema de la *competencia científica*.

En la *sesión 3*, realizada de forma separada, cada grupo cooperativo comienza a seleccionar los contenidos correspondientes a su UD. Esto supone revisar el currículo oficial para identificarlos, ya sea de forma directa o indirecta. Es el momento para analizar los elementos del currículo y detenerse en sus bloques de contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje.

La *sesión 4* se destina a responder *¿qué física/química enseñar?* y *¿qué es la ciencia escolar?* Tras un tiempo de trabajo en los grupos cooperativos, el formador introduce expresamente la noción de «transposición didáctica» (Chevallard, 1985), y para trabajar sobre ella los grupos realizan un análisis de distintos libros de texto seleccionados por los formadores (algunos de ellos contemplan la transposición a lo largo de la ESO y el Bachillerato, mientras que otros se centran en un conocimiento experto de corte académico).

La *sesión 5* comienza solicitándose a los futuros profesores que resuelvan una serie de actividades sobre física y química, destinadas a la identificación y detección de «concepciones alternativas» (Driver, 1988). En esta clase, además de considerar actividades escolares, se proponen otras que pueden resultar verdaderos retos para los estudiantes de máster. Las resoluciones se ponen en común en el gran grupo, y posteriormente se analiza su intencionalidad y las dificultades u obstáculos que subyacen, dando pie a introducir expresamente la idea de «concepciones alternativas», aspecto de crucial importancia para el aprendizaje, y en la investigación en didáctica de las ciencias.

La *sesión 6*, diferenciada por asignaturas, aborda la selección de contenidos. Para ello se recurre a las UD's diseñadas por los formadores siguiendo el modelo propuesto (*UD's-ejemplo*), y que representan ejemplificaciones de contenidos contextualizados para diferentes cursos de secundaria (en las sesiones siguientes se recurrirá a estos materiales). Sus títulos son: «La energía electromagnética: sin duda, la más aprovechable» (3º ESO), «Ondas y luz en el tiempo» (2º Bachillerato), «Unidad y diversidad de materiales en la naturaleza» (3º ESO) y «Cambio y diversidad en la naturaleza» (3º ESO).

En la Tabla 3 se recoge un ejemplo, para uno de los bloques de la «UD-ejemplo» sobre electricidad, de cómo los contenidos se formulan considerando competencias formuladas de forma precisa (el estudiante debe saber que / ser capaz de / implicarse en...), aspecto que consideramos de utilidad para la construcción de CDC. Ello constituye una herramienta para guiar el diseño de las secuencias de actividades y el sistema de evaluación, favoreciendo la reflexión sobre las concepciones alternativas del alumnado en todo este proceso (Loughran *et al.*, 2008). Por completitud, cabe indicar que nuestro trabajo previo (Martínez-Aznar *et al.*, 2013) incluye una tabla semejante para la UD «Cambio y diversidad en la naturaleza».

En la *sesión 7* los grupos cooperativos abordan la selección de contenidos para sus correspondientes UD's. Es decir, reflexionan sobre cómo transformar los contenidos genéricos del currículo en los conocimientos, capacidades y actitudes específicos que deberán construir los escolares, y que son rasgos identificativos de la competencia científica.

La *sesión 8* se dedica a recursos TIC, y la novena a que los grupos colaborativos comiencen a elaborar actividades para orientar el proceso de enseñanza-aprendizaje de sus correspondientes UD's. Tomando esta *sesión 9* como referencia, las siete sesiones siguientes (*sesiones 10-16*) se dedican a la implementación de una serie de actividades incluidas en las «UD's-ejemplo» de los formadores que deberán ser resueltas por los futuros profesores, además de a continuar el diseño de sus propias actividades escolares.

Tabla 3. Organización competencial de los contenidos para uno de los bloques de la UD «La energía electromagnética: sin duda, la más aprovechable».

Conocimientos (<i>El estudiante debe saber que</i>)	Capacidades (<i>El alumno debe ser capaz de</i>)	Actitudes (<i>El alumno debe implicarse en—</i>)
Un circuito debe estar cerrado para que funcione.	Interpretar y realizar esquemas de circuitos eléctricos.	
En un circuito la energía se conserva y se transforma de unos tipos en otros.	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar en circuitos serie con bombillas, resistencias y motores la conservación del voltaje con la conservación de la energía. - Analizar las transformaciones energéticas que se producen en los citados elementos. 	
<ul style="list-style-type: none"> - La corriente eléctrica es un movimiento ordenado de cargas. - La carga dentro de un circuito se conserva; las cargas “no salen de la pila, fluyen por el circuito y se gastan a lo largo del mismo”. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprobar con materiales de uso cotidiano que unos conducen y otros no. - Utilizar la constancia de la corriente para predecir lo que ocurre en un circuito serie con bombillas y resistencias. 	
El voltaje es la causa de que la corriente circule, y no la consecuencia.	Predecir el comportamiento de circuitos sencillos reconociendo que puede haber voltaje sin que circule la corriente, y comprobarlo de forma experimental utilizando amperímetros y voltímetros.	
Los elementos de un circuito se caracterizan por su resistencia y su potencia eléctrica.	Identificar el valor de las resistencias a partir del código de colores; identificar la potencia de los aparatos.	
<ul style="list-style-type: none"> - La intensidad que pasa por un elemento depende del voltaje que se le aplica y de su resistencia. - Las resistencias se pueden asociar de diferentes maneras: serie, paralelo y mixta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar montajes y mediciones con amperímetros y voltímetros (indicando su precisión). - Deducir la ley de Ohm a partir de datos empíricos. - Hacer cálculos con magnitudes eléctricas; expresar los resultados con las cifras significativas correctas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Integrarse y cooperar en proyectos cooperativos, valorando la contribución de cada miembro del grupo. - Cuidar el material de laboratorio y respetar las normas de seguridad. - Valorar la importancia de tomar las medidas con las unidades y precisión adecuadas.

El punto de partida de las actividades incluidas en las ejemplificaciones ya mencionadas es la detección de concepciones alternativas. Igualmente, para promover el cambio conceptual y la construcción de los conocimientos requeridos, las «UDs-ejemplo» incorporan estrategias y herramientas didácticas como la indagación, la elaboración y utilización de modelos teóricos (para predecir e interpretar fenómenos científicos) o las TIC como recurso; a continuación expondremos varios ejemplos.

Para el caso concreto de la Didáctica de la Química, cabe indicar que la finalidad de las dos «UDs-ejemplo» es que los escolares construyan el concepto de *sustancia*, y sean capaces de explicar sus cambios físicos y químicos a partir de «modelos teóricos intermediarios» – cinético-molecular, atómico de Dalton y *estructural*– (Clement, 2000). Para lograr estos fines, se consideran diversos problemas abiertos de tipo académico y carácter experimental, que tienen en cuenta las concepciones alternativas de los escolares. Como ejemplo, la Tabla 4 muestra la secuencia de problemas abiertos escolares considerada en la segunda UD, «Cambio y diversidad en la naturaleza», y una justificación de cómo estos problemas permiten cubrir los requerimientos curriculares sobre cambios físicos y químicos para 3º de ESO.

Tabla 4. Secuencia de problemas abiertos de la UD «Cambio y diversidad en la naturaleza» para abordar los requerimientos curriculares de 3º de ESO.

Contenidos	Criterios de evaluación	Secuencia de problemas
Cambios físicos y químicos	Distinguir entre cambios físicos y químicos mediante la realización de experiencias sencillas.	<i>¿Qué puede ocurrir...</i> 1. ...cuando dos sustancias se ponen en contacto?
Reacción química	Caracterizar las reacciones químicas como cambios de unas sustancias en otras.	2. ...cuando a una sustancia se le añade agua?
Cálculos estequiométricos sencillos	Describir a nivel molecular el proceso por el cual los reactivos se transforman en productos.	3. ...cuando se calienta una sustancia?
Ley de conservación de la masa	Deducir la ley de conservación de la masa y reconocer reactivos y productos a través de experiencias sencillas de laboratorio.	4. ...cuando una sustancia se pone en contacto con la corriente eléctrica?

Por otra parte, debido al carácter novedoso de las metodologías Inquiry-Based Science Education (IBSE), es preciso que los futuros profesores cuenten con experiencias de trabajo y aprendizaje mediante las mismas, por lo que se requiere que resuelvan los problemas escolares de la Tabla 4 por ellos mismos, asumiendo el rol de sus futuros alumnos de secundaria. Para ello, entre los posibles enfoques IBSE se ha elegido la *Metodología de Resolución de Problemas como Investigación* –MRPI– (Martínez-Aznar e Ibáñez, 2005; Rodríguez-Arteche y Martínez-Aznar, 2016), método que consta de 5 fases que deben entenderse de forma cíclica para trabajar los aspectos conceptuales y procedimentales de los problemas. El [Anexo 2](#) muestra una guía detallada sobre cómo se ha implementado el Problema 1 de la Tabla 4, que además puede ser de utilidad para los lectores ya que gran parte de las publicaciones sobre métodos IBSE se centran en los resultados finales de los aprendizajes, y no tanto en los procesos que los posibilitan.

En la asignatura de Didáctica de la Física, la primera «UD-ejemplo» consta de dos grandes bloques. El primero de ellos corresponde a la electricidad y los circuitos eléctricos, y se considera una estrategia de «programa de actividades» para poder superar diversas concepciones alternativas sobre la temática –razonamiento secuencial, modelos de circulación de la corriente no conservativos, etc. (Varela, 1994)– y abordar los requerimientos curriculares. En el segundo bloque se trabaja la producción de la energía eléctrica y sus fuentes, para terminar desarrollando su consumo y la noción de sostenibilidad, es decir, problemáticas de tipo CTSA, a través de problemas indagativos como «¿Es razonable el consumo de energía eléctrica que hacemos en nuestras casas?» (Martínez-Aznar y Varela, 2009).

Por otra parte, la UD «Ondas y Luz en el tiempo», para 2º de Bachillerato, incorpora aspectos históricos relacionados con la temática en el desarrollo de las actividades. Además, como ejemplo de otra metodología de tipo IBSE, incluye actividades *Just-in-time* (Prince y Felder, 2006) utilizando la aplicación SurveyMonkey. Para promover el aprendizaje de este método, los futuros profesores comienzan respondiendo (de forma individual) preguntas como: «¿De qué color vemos una toalla roja si la iluminamos con luz azul?» Después, trabajando en sus grupos cooperativos analizan los resultados obtenidos por el grupo-clase en términos de frecuencias (mostrados en la pantalla), y discuten posibles cambios en las respuestas individuales pudiendo utilizar laboratorios virtuales como el mostrado en la Figura 1.

Volviendo a la temporalización de la Tabla 2, cabe decir que en la *sesión 17*, tras el trabajo sobre las actividades de las «UDs-ejemplo», los estudiantes de máster revisan en conjunto las actividades diseñadas para sus UD. En todo momento se hace hincapié en la necesaria *coherencia* entre todos los componentes de la UD (contenidos curriculares / concepciones

alternativas / conocimientos, capacidades y actitudes competenciales / secuencias de actividades).

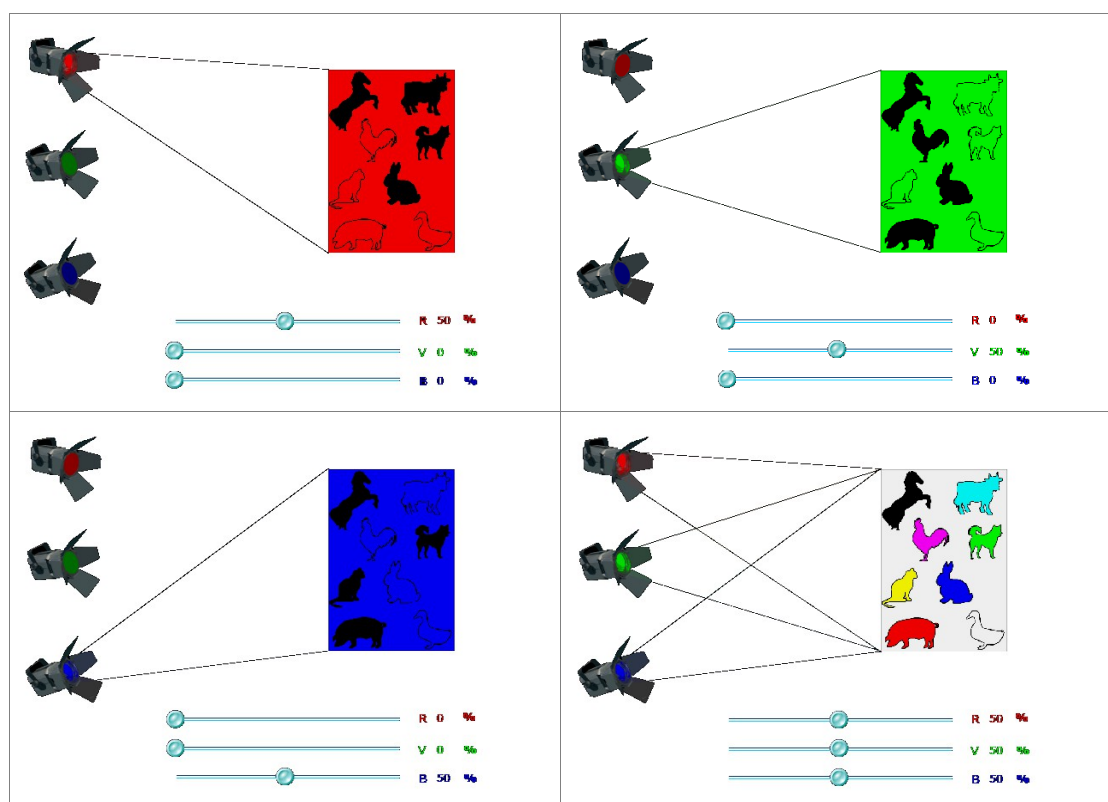


Figura 1. Laboratorio virtual para abordar *el color de lo que nos rodea* en la UD «Ondas y luz en el tiempo». La autoría del recurso corresponde a <http://www.fisica-quimica-secundaria-bachillerato.es/>

A continuación, la *sesión 18* común a ambas asignaturas se destina a la *evaluación*, abordándose su finalidad y posibles indicadores para determinarla. Así, se hace referencia a los programas TIMSS y PISA, que al concebir la ciencia como «proceso y producto» y presentar indicadores específicos para la competencia científica, han sido considerados en la elaboración de nuestro modelo (Martínez-Aznar *et al.*, 2013).

Ya en la *sesión 19* y para ambas asignaturas, se proponen ejemplos de pruebas para evaluar los aprendizajes de las «UDs-ejemplo», junto con los correspondientes indicadores –como apunte, decir que los correspondientes a la UD «La energía electromagnética» se mostraron en (Martínez-Aznar *et al.*, 2013)–. De esta forma, se posibilita que en la siguiente clase (*sesión 20*) los grupos cooperativos diseñen sus actividades para la evaluación.

Para la *sesión 21* se invita a dos profesores en ejercicio, para presentar actividades dirigidas a Diversificación Curricular / Programa de Mejora del Aprendizaje y del Rendimiento, y para el contexto de centros tecnológicos. A continuación, en la *sesión 22* los futuros docentes deben revisar y finalizar sus UD, analizando críticamente su coherencia interna. Además, en esta sesión los estudiantes vuelven a cumplimentar el cuestionario de creencias inicial (su estudio será objeto de un próximo trabajo), e igualmente se realiza una *recapitulación* del curso antes de las jornadas destinadas a la comunicación oral de las UD ante los formadores y el resto de compañeros. Los órdenes de actuación se deciden por sorteo.

En las presentaciones (*sesiones 23-24*), todos los componentes del grupo deben participar de forma equitativa, presentar los aspectos fundamentales de sus propuestas didácticas y responder a las preguntas que se les realice durante el debate. Los documentos de las UD's y los recursos tecnológicos utilizados en las presentaciones se alojan en el Campus Virtual, y quedan a disposición de todo el grupo-clase. Finalmente, para la evaluación y calificación de los futuros profesores, en cada asignatura se considera la Unidad Didáctica correspondiente (elaborada en grupo), un ejercicio escrito individual y las actividades de aula desarrolladas durante el curso.

Consideraciones finales

En el presente trabajo se ha desarrollado un programa formativo para las asignaturas de Didáctica de la Física y Didáctica de la Química del MFPS, con la finalidad de que los futuros profesores inicien la construcción de su CDC, y un énfasis especial en el dominio de las características y elementos de la competencia científica (como componentes del CDC).

Una de las premisas distintivas del programa presentado es la de ofrecer vivencias de aprendizaje de corte constructivista, por la novedad que pueden suponer para el futuro profesorado. Por este motivo, las actuaciones de los profesores de didáctica (y la observación por parte de los estudiantes de sus roles) como *modelos de actuación* en el proceso de enseñanza-aprendizaje resultan fundamentales, y máxime en estos momentos en que los estudiantes de máster carecen de experiencia docente. De acuerdo con la literatura (Abell, 2008; Loughran *et al.*, 2008), ello permite promover una primera reflexión sobre la práctica (eje central del CDC), a través del análisis de las Unidades Didácticas diseñadas e implementadas por los formadores para trabajar sobre contenidos escolares contextualizados.

Por otra parte, por las limitaciones inherentes a la formación inicial del profesorado, la promoción del desarrollo del CDC para toda la variedad temática que puede necesitar un profesor de física y química resulta inviable (Magnusson *et al.*, 1999). Por este motivo, de acuerdo con autores como Zembal-Saul *et al.* (2000), creemos muy valioso el abordar un «marco de referencia» con el que afrontar nuevos contenidos, que en nuestro caso se concreta en la elaboración de Unidades Didácticas como producto final de las asignaturas de didáctica. Además, este proceso conlleva tener en cuenta cómo realizar una «transposición didáctica» para promover, por ejemplo, el primer aprendizaje de un escolar sobre el enlace químico, un reto importante cuya resolución puede generar satisfacción y motivación hacia la profesión.

Un aspecto que consideramos no menos importante es el de demandar una vinculación real de estas asignaturas con el Practicum y el TFM (Solbes y Gavidia, 2013), lo que implica una perfecta coordinación entre tutores y mentores para propiciar oportunidades donde los futuros profesores puedan reforzar los conocimientos y estrategias metodológicas adquiridas durante la primera fase del Máster (y no suceda el proceso inverso). En este sentido, creemos conveniente terminar este artículo destacando la relevancia de todos los agentes implicados en la formación del profesorado en pos de una renovación de la enseñanza: solo a través de una formación docente adecuada y valiosa podremos conseguir el éxito en los aprendizajes científicos de los futuros ciudadanos.

Finalmente, se abre una línea de investigación para poder identificar el cambio en las *creencias profesionales* de los futuros profesores como consecuencia de la implementación de esta propuesta formativa (Solís *et al.* 2013), así como para analizar las Unidades Didácticas elaboradas durante las asignaturas, como punto de partida para la construcción del CDC del futuro profesorado.

Agradecimientos

A los compañeros que han compartido la docencia en las asignaturas de Didáctica de la Física y de la Química desde el inicio del Máster, y a todos los estudiantes que las han cursado.

Referencias bibliográficas

- Abell, S.K. (2008). Twenty years later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education*, 30(10), 1405-1416.
- Acevedo, J.A. (2009). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (I): El marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 21-46.
http://venus.uca.es/eureka/revista/Volumen6/Numero_6_1/Acevedo_2009a.pdf
- Alonzo, A.C. y Kim, J. (2016). Declarative and dynamic pedagogical content knowledge as elicited through two video-based interview methods. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), 1259-1286.
- Benarroch, A. (2011). Diseño y desarrollo del máster en profesorado de educación secundaria durante su primer año de implantación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(1), 20-40. <http://hdl.handle.net/10498/10203>
- Bertram, A. (2014). CoRes and PaP-eRs as a strategy for helping beginning primary teachers develop their pedagogical content knowledge. *Educación Química*, 25(3), 292-303.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble: La Pensée Sauvage.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Cochran-Smith, M. (2001). The outcomes question in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 17(6), 527-546.
- Comisión Europea (2007). *Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe* ("Informe Rocard"). Recuperado de:
http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf
- Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120.
- Feiman-Nemser, S. (2001). From preparation to practice: Designing a continuum to strengthen and sustain teaching. *Teachers College Record*, 103(6), 1013-1055.
- Garritz, A. (2013). PCK for dummies. *Educación Química*, 24, 462-465.
- Gess-Newsome, J. y Lederman, N.G. (1995). Biology teachers' perceptions of subject matter structure and its relationship to classroom practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(3), 301-325.
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. En J. Gess-Newsome y N.G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.
- Goodnough, K.C. y Hung, W. (2008). Engaging teachers' Pedagogical Content Knowledge: Adopting a nine-step Problem-Based Learning Model. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 2(2), 61-90.

- Grossman, P.L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press.
- Guisasola, J., Barragués, J.I. y Garmendia, M. (2013). El Máster de Formación Inicial del Profesorado de Secundaria y el conocimiento práctico profesional del futuro profesorado de Ciencias Experimentales, Matemáticas y Tecnología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 568-581.
<http://hdl.handle.net/10498/15614>
- Hatch, J.A. (1999). What preservice teachers can learn from studies of teachers' work? *Teaching and Teacher Education*, 15(3), 229-242.
- Hmelo-Silver, C.E., Duncan, R.G. y Chinn, C.A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller and Clark. *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107.
- Hume, A. y Berry, A. (2011). Constructing CoRes – a strategy for building PCK in pre-service science teacher education. *Research in Science Education*, 41(3), 341-355.
- Jiménez-Tenorio, N. y Oliva, J.M. (2016) Aproximación al estudio de las estrategias didácticas en ciencias experimentales en formación inicial del profesorado de Educación Secundaria: descripción de una experiencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 121-136. <http://hdl.handle.net/10498/18018>
- Käpylä, M., Heikkinen, J-P. y Asunta, T. (2009). Influence of content knowledge on pedagogical content knowledge: The case of teaching photosynthesis and plant growth. *International Journal of Science Education*, 31(10), 1395-1415.
- Loughran, J., Mulhall, P. y Berry, A. (2008). Exploring pedagogical content knowledge in science teacher education. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1301-1320.
- Magnusson, S., Krajcik, J. y Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. En J. Gess-Newsome y N.G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 95-132). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Martínez-Aznar, M.M., Martín del Pozo, R., Rodrigo, M., Varela, M.P., Fernández-Lozano, M.P., Guerrero-Serón, A. (2001). ¿Qué pensamiento profesional y curricular tienen los futuros profesores de ciencias de Secundaria? *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 67-87.
- Martínez-Aznar, M.M. e Ibáñez, M.T. (2005). Solving problems in genetics. *International Journal of Science Education*, 27(1), 101-121.
- Martínez-Aznar, M.M., y Varela, M.P. (2009). La resolución de problemas de energía en la formación inicial de maestros. *Enseñanza de las ciencias*, 27(3), 343-360.
- Martínez-Aznar, M.M., Varela, M.P., Ezquerra, A. y Sotres, F. (2013). Las Unidades Didácticas escolares, basadas en competencias, como eje estructurante de la Didáctica de la Física y Didáctica de la Química para la formación inicial de profesores de secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 616-629.
<http://hdl.handle.net/10498/15617>
- Nilsson, P. (2008). Teaching for understanding: The complex nature of pedagogical content knowledge in pre-service education. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1281-1299.

- Park, S. y Oliver, J.S. (2008). Revisiting the conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in Science Education*, 38(3), 261-284.
- Pecore, J.L. (2012). Beyond beliefs: Teachers adapting problem-based learning to preexisting systems of practice. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 7(2), 7-33.
- Perales, F.J., Cabo, J.M., Vílchez, J.M., Fernández, M., González, F., Jiménez, P. (2014). La reforma de la formación inicial del profesorado de ciencias de secundaria: Propuesta de un diseño del currículo basado en competencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 9-28.
- Porlán, R., Martín del Pozo, R., Rivero, A., Harres, J., Azcárate, P. y Pizzato, M. (2010). El cambio del profesorado de ciencias I: Marco teórico y formativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 31-46.
- Prince, M.J. y Felder, R.M. (2006). Inductive teaching and learning methods: Definitions, comparisons, and research bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123-138.
- Rivero, A., Martínez-Aznar, M.M., Pontes, A. y Oliva, J.M. (2014). ¿Qué estamos enseñando y qué deberíamos enseñar desde la didáctica de las ciencias en la formación inicial del profesorado de secundaria? *Mesa redonda presentada a los 26º Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Septiembre. Universidad de Huelva-ÁPICE.
- Rodríguez-Arteche, I. y Martínez-Aznar, M.M. (2016). Introducing inquiry-based methodologies during initial secondary education teacher training using an open-ended problem about chemical change. *Journal of Chemical Education*, 93(9), 1528-1535.
- Roth, W-M. y Tobin, K. (2001). Learning to teach science as practice. *Teaching and Teacher Education*, 17(6), 741-762.
- Shulman, L.S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Reseracher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L.S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Solbes, J. y Gavidia, V. (2013). Análisis de las especialidades de Física y Química y de Biología y Geología del máster de profesorado de educación secundaria de la Universidad de Valencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 582-593. <http://hdl.handle.net/10498/15615>
- Solís, E., Martín del Pozo, R., Rivero, A. y Porlán, R. (2013). Expectativas y concepciones de los estudiantes del MAES en la especialidad de Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 496-513. <http://hdl.handle.net/10498/15610>
- Steinkuehler, C.A., Derry, S.J., Hmelo-Silver, C.E. y Delmarcelle, M. (2002). Cracking the resource nut with distributed problem-based learning in secondary teacher education. *Distance Education*, 23(1), 23-39.
- Van der Valk, T. y Broekman, H. (1999). The lesson preparation method: A way of investigating pre-service teachers' pedagogical content knowledge. *European Journal of Teacher Education*, 22(1), 11-22.
- Varela, M.P. (1994). *La resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias. Aspectos didácticos y cognitivos*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid. <http://eprints.ucm.es/2240>

- Zeidler, D.L. (2002). Dancing with maggots and saints: Visions for subject matter knowledge, pedagogical knowledge and pedagogical content knowledge in science teacher education reform. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 27-42.
- Zemal-Saul, C., Blumenfeld, P. y Krajcik, J. (2000). Influence of guided cycles of planning, teaching, and reflection on prospective elementary teachers' science content representations. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(4), 318-339.

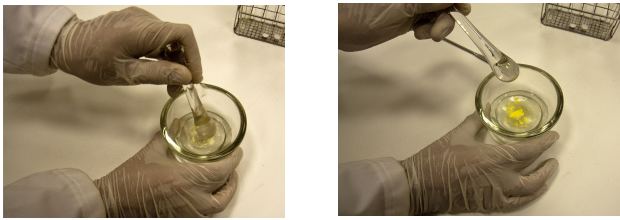
Anexo 1**Tabla 1:** Índice de contenidos del «Modelo para la elaboración de Unidades Didácticas» diseñado para la Didáctica de la Física y la Didáctica de la Química del MFPS.



Modelo para la elaboración de Unidades Didácticas
1. ANÁLISIS DEL CONTEXTO 1.1. Características del Centro 1.2. Profesorado y experiencia docente 1.3. El currículo escolar Resumen de acciones
2. ANÁLISIS DIDÁCTICO 2.1. Características del alumnado. Concepciones alternativas 2.2. Selección de contenidos (conocimientos, capacidades y actitudes) 2.3. Relación entre los contenidos Resumen de acciones
3. ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS 3.1. Presupuestos metodológicos 3.2. Diseño y secuencia de actividades Resumen de acciones
4. EVALUACIÓN 4.1. Criterios e indicadores 4.2. Evaluación en el marco de las competencias Resumen de acciones
5. RECURSOS DIDÁCTICOS

Anexo 2

Se describe un extracto de contenidos que pueden presentarse durante la resolución del problema abierto «¿Qué puede ocurrir cuando dos sustancias se ponen en contacto?», así como preguntas que puede realizar el formador para orientar la resolución.

En la asignatura de Didáctica de la Química se requiere que los futuros profesores resuelvan este problema como parte del proceso de aprendizaje de una metodología indagativa. Para ello, antes de la sesión experimental los estudiantes deben realizar el análisis cualitativo correspondiente a la pregunta abierta, y diseñar estrategias de resolución (contemplando distintas posibilidades de sustancias-problema). Una vez en el laboratorio, se proporcionan dos sustancias blancas y cristalinas desconocidas para ellos (serían nitrato de plomo (II) y yoduro de potasio). Los futuros profesores deben revisar su análisis previo y resolver el problema utilizando material sencillo de laboratorio, y tienen que elaborar un informe final. Durante el proceso formativo, la observación y reflexión sobre las acciones desarrolladas por el formador se consideran fundamentales para la construcción inicial del CDC.

Contenido	Descripción	Preguntas posibles para inducir el contenido
Contacto y color	<p>Debido al carácter higroscópico del KI se produce una reacción química al poner en contacto $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ y KI con la ayuda de un mortero, o simple agitación en un tubo de ensayo, percibiéndose un cambio de color de blanco a amarillo en pocos minutos.</p> <p>Cabe indicar que la utilización de disoluciones supondría la incorporación de una nueva sustancia; por ello, no se ajustaría al enunciado del problema.</p> <p>Por otra parte, debido al cambio de color, es posible analizar la influencia de factores como la <i>superficie de contacto</i> o el <i>tiempo</i> en el proceso.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo se pueden poner en contacto <i>dos</i> sustancias? • ¿Qué implica el cambio de color?
Propiedades características	<p>Un criterio adecuado para determinar si se ha producido un cambio físico o químico consiste en analizar cambios en propiedades características (puntos de fusión, solubilidad, reactividades, etc.).</p> <p>En este caso, se puede realizar un análisis cualitativo de las solubilidades. Si se añade agua, la sustancia amarilla obtenida (PbI_2) no se disuelve, mientras que las iniciales sí lo hacen, por lo que el cambio es químico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Es suficiente un cambio de color para determinar qué tipo de cambio (físico/químico) ha sucedido? • ¿Se podría comprobar esta hipótesis con el material disponible en el laboratorio? ¿Cómo?
Reversibilidad de los cambios	<p>En el marco de la ESO, las reacciones químicas estudiadas “suelen ser” completas (las incompletas no se abordan en detalle hasta 2º de Bachillerato). Por ello, las reacciones pueden considerarse procesos irreversibles, y los cambios físicos, reversibles.</p> <p>Así, otra estrategia posible para determinar el tipo de cambio sería intentar probar la reversibilidad del proceso por medio de alguna técnica física.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Podría revertirse el cambio? ¿Podrían volver a obtenerse las sustancias de partida? ¿Cómo?

Contenido	Descripción	Preguntas posibles para inducir el contenido
Reactivos limitante y excedente	<p>A diferencia de los «ejercicios clásicos», aquí no se utilizan proporciones estequiométricas, lo que permite determinar experimentalmente los reactivos limitante y excedente, a través de la diferente solubilidad de las sustancias implicadas.</p> <p>Si se añade agua a las sustancias finales, el PbI_2 no se disuelve mientras que el KNO_3 (el otro producto) y el reactivo excedente son solubles. Tras la filtración del PbI_2, en las aguas madres está contenido el reactivo excedente. Si en partes alícuotas se añaden los reactivos, se producirá la reacción química cuando se adicione el reactivo limitante.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si la hipótesis del cambio químico es correcta, a partir de los reactivos A y B, ¿qué productos obtendremos? (...) • ¿Solo C? ¿Solo C y D? ¿Cómo se podría probar?
Solubilidad y «lluvia de oro»	<p>Se puede comprobar que el PbI_2 es insoluble en frío y soluble en caliente. Cuando se enfría rápidamente y con agitación dicha disolución, se obtiene un precipitado cristalino dorado que se denomina «lluvia de oro».</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Se ha comprobado si el/los producto(s) de la reacción son insolubles? ¿Se puede decir que la sustancia amarilla es insoluble? • (...) ¿Qué se ha observado al enfriar la disolución?
Niveles de representación de una reacción química	<p>Para interpretar y explicar los resultados se debe recurrir a un modelo teórico, en este caso el modelo de la teoría atómica de Dalton. Es decir, hay que hacer representaciones microscópicas y también simbólicas del cambio ocurrido. Así, las representaciones simbólicas iniciales que pueden proponer los estudiantes son:</p> $A_{(s)} + B_{(s)} \rightarrow C_{(s)} \quad A_{(s)} + B_{(s)} \rightarrow C_{(s)} + D_{(s)}$ $A_{(s)} + B_{(s)} \rightarrow C_{(s)} + D_{(s)} + A_{(s)} / B_{(s)}$ <p>Para el ajuste de la reacción química se recurre a representaciones microscópicas con diferentes números de “moléculas” de los reactivos (a modo de “caso experimental”) para así obtener las correspondientes “moléculas” de los productos, que en base a la ley de conservación de la masa permiten realizar el ajuste numérico. Así se supera el procedimiento meramente matemático, resaltando la interpretación química del ajuste.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si partimos de las sustancias A y B, ¿cómo se podría simbolizar el proceso? ¿Y cómo se representa a nivel microscópico? • ¿Sería posible identificar las sustancias que han intervenido en la reacción? (Al final de la resolución, el profesor identifica A y B para abordar estos aspectos.)

Capítulo 5

Las Actividades Indagativas para Secundaria como Problema Profesional

5. LAS ACTIVIDADES INDAGATIVAS PARA SECUNDARIA COMO PROBLEMA PROFESIONAL

Según se comentó en el capítulo anterior, la construcción del CDC que se inicia en los estudios del Máster necesita proyectarse a través de la resolución de retos, de verdaderos problemas profesionales, para fomentar la reflexión sobre los procesos de enseñanza-aprendizaje escolares. En concreto, en relación al uso y diseño de actividades de aula, se asumen los métodos indagativos por su comprobada contribución a la mejora de la calidad educativa, al sustentar el aprendizaje significativo de conocimientos, procedimientos y actitudes, y favorecer el interés de los escolares hacia las ciencias.

En la propuesta formativa para la asignatura de Didáctica de la Química, se dispone de Unidades Didácticas (UD) “ejemplo” centradas en la resolución de situaciones problemáticas escolares sobre la materia y los cambios físicos y químicos. Estas UD han sido diseñadas por la profesora de la asignatura siguiendo el «Modelo para la Elaboración de Unidades Didácticas» adoptado en el curso. La intención es que los futuros profesores, aprenden a resolver estas actividades, sientan las dificultades que los escolares podrían tener y, lo que es fundamental, reflexionen y comprueben cómo la formadora y el observador participante, el autor de esta tesis, proporcionan un andamiaje para que ellos puedan dar respuestas y soluciones a los problemas escolares planteados.

Para ello, se asume la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI), de probada eficacia para la enseñanza-aprendizaje de las diferentes disciplinas científicas (física, química, biología y geología) y niveles educativos, y para la formación inicial de maestros. Ahora, se comprueba su efectividad para la formación inicial de profesores de física y química de Educación Secundaria.

Se presentan ejemplos de cómo se desarrolla el proceso de enseñanza-aprendizaje de la MRPI en los grupos cooperativos de estudiantes del Máster, para la resolución de dos situaciones problemáticas escolares incluidas en la UD «Cambio y diversidad en la naturaleza», propuesta por la formadora. Estos problemas abiertos están enunciados como: “¿Qué puede ocurrir cuando dos sustancias se ponen en contacto?” y “¿Qué puede ocurrir cuando se calienta una sustancia?” Así, a partir de las soluciones presentadas en los informes de los participantes, se analizan los logros alcanzados en términos de indicadores y de niveles de competencia científica. Se hace especial hincapié en el uso de modelos teóricos para explicar e interpretar los resultados obtenidos durante la resolución de las situaciones problemáticas investigadas en la tesis.

Otra pretensión formativa deseable es que los futuros profesores puedan trasladar sus experiencias con la MRPI a las aulas escolares, ya sea durante el Practicum o durante la inducción al desarrollo docente. En esta línea, también se incluye la aplicación y aportación realizada por el autor de la tesis, como *profesor en prácticas*, y de su directora,

como *tutora académica*, durante el desarrollo del Practicum del curso 2011/12. Este trabajo supone la continuación del aprendizaje previo sobre la MRPI en la asignatura de Didáctica de la Química (a través de los mismos problemas sobre el cambio químico). Por ello, con esta publicación se pretende reivindicar la oportunidad que constituye la fase de prácticas del Master como refuerzo del cambio metodológico defendido desde las asignaturas del módulo específico.

Este último trabajo se desarrolla en la asignatura de Ampliación de Física y Química de 4º de la ESO. Se analiza el progreso de los escolares en el aprendizaje de las dimensiones competenciales relativas a la planificación de investigaciones, y la influencia de la MRPI en su adquisición.

A continuación, se presentan los distintos estudios sobre la resolución de actividades indagativas a través de la MRPI. Estos artículos se vinculan a la consecución de los *Objetivos 4 y 6* de la tesis doctoral:

- «Analizar el nivel de competencia de los futuros profesores en la resolución de los problemas sobre cambios físicos y químicos»
- «Ejemplificar la transferencia de la MRPI a Educación Secundaria durante las prácticas docentes»

Asimismo, en cada artículo se presentan objetivos más específicos, pero asociados a estas dos metas más generales.

Artículo 2 (*publicación del compendio*)

Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (2016). Introducing Inquiry-Based Methodologies during Initial Secondary Education Teacher Training Using an Open-Ended Problem about Chemical Change. *Journal of Chemical Education*, 93(9), 1528–1535. DOI: 10.1021/acs.jchemed.5b01037. Recuperado de: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.5b01037>

Artículo 3 (*publicación del compendio*)

Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (2016). Open-ended problem solving in chemistry during initial secondary education teacher training. *International Journal of Learning and Teaching*, 8(3), 174–186. DOI: 10.18844/ijlt.v8i3.895. Recuperado de: <http://sproc.org/ojs/index.php/ijlt/article/view/895/pdf>

Artículo 4 (*publicación del compendio*)

Rodríguez-Arteche, I., Martínez-Aznar, M.M. & Garitagoitia, A. (2016). La competencia sobre planificación de investigaciones en 4º de ESO: un estudio de caso. *Revista Complutense de Educación*, 27(1), 329–351. DOI: 10.5209/rev_RCED.2016.v27.n1.46356. Recuperado de: <http://revistas.ucm.es/index.php/RCED/article/view/46356>

**Introducing Inquiry-Based Methodologies during
Initial Secondary Education Teacher Training Using
an Open-Ended Problem about Chemical Change**

Introducing Inquiry-Based Methodologies during Initial Secondary Education Teacher Training Using an Open-Ended Problem about Chemical Change

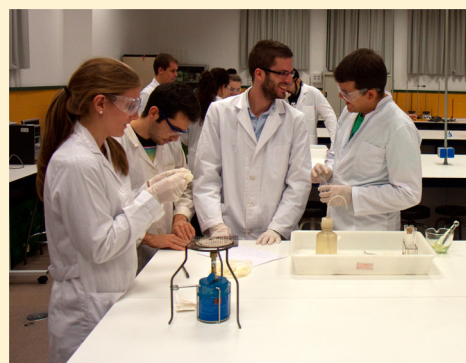
Íñigo Rodríguez-Arteche and M. Mercedes Martínez-Aznar*

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Educación-C.F.P., Universidad Complutense de Madrid, Rector Royo Villanova, s.n., 28040 Madrid, Spain

S Supporting Information

ABSTRACT: In this paper, the characteristics of an initial training program for secondary school physics and chemistry teachers are presented. This program is based on the resolution of professional problems, in order to develop preservice teachers' competencies for integrating inquiry-based science education (IBSE) into their future teaching. With this goal in mind, the methodology of problem solving as an investigation was introduced, and preservice teachers had to solve a sequence of open-ended problems using this IBSE-type methodology. The article describes how they solved the practical problem "What might happen when two substances are placed in contact with each other?" with a specific focus on the roles of both the students and the professor. Moreover, the paper provides guidelines for implementing the problem, which is compatible with the curricular content of secondary education. Finally, an analysis of preservice teachers' written reports about the problem suggests that the procedures which they found more difficult were those involved in the stages of "design of resolution strategies" and "analysis of results".

KEYWORDS: Graduate Education/Research, High School/Introductory Chemistry, Inquiry-Based/Discovery Learning, Problem Solving/Decision Making, Constructivism, Student-Centered Learning, TA Training/Orientation



INTRODUCTION

The Inquiry-Based Science Education (IBSE) approach consists of a learner-centered, constructivist perspective of learning. These IBSE methods provide students with a challenge or problem which they must overcome by learning the necessary content without receiving previous explanations.¹ While there are several interpretations of what is meant by inquiry,² in this study it will be considered as (ref 3, p 4)

[T]he intentional process of diagnosing problems, critiquing experiments and distinguishing alternatives, planning investigations, researching conjectures, searching for information, constructing models, debating with peers, and forming coherent arguments.

As such, the differences between IBSE methods lie in the degree of challenge that students have,¹ and the level of scaffolding provided by the teacher to guide them.⁴

At an international level there is a general consensus that the IBSE approach is successful in overcoming the problems of lack of interest and motivation in the subject of science and its learning.^{2,5,6} This is supported by extensive research which has shown that if adequate scaffolding is provided,⁷ the IBSE approach can allow students to enhance and retain their conceptual understanding.⁸ Furthermore, it can help them to develop their reasoning and problem-solving skills,⁹ articulate their thinking, and reflect on their learning.⁴

However, in reality the use of inquiry-based methodologies has been somewhat limited at primary and high school levels. This could be due to a number of beliefs, such as the thought that they require a lot of time in the classroom, the presumed burden they place on the teacher, and the supposed lack of adequate materials.^{10,11} Moreover, from both pedagogical and psychological perspectives some authors are skeptical about their effectiveness,¹² although this could result from an incorrect association with "minimally guided instruction" or discovery learning.⁴

To overcome these issues and promote wider use of IBSE methods, it is necessary to develop teacher training initiatives which incorporate them for future primary^{13,14} and secondary^{15–17} school teachers. This should be done for the following reasons:

- Teachers are the principal agents in terms of updating scientific education.⁵ While it is necessary that schools promote *being innovative*¹⁵ and create a collaborative educational culture,¹⁸ it is also indispensable that individual teachers are encouraged to be creative through their initial training.

Received: December 28, 2015

Revised: June 14, 2016

Published: July 11, 2016

119

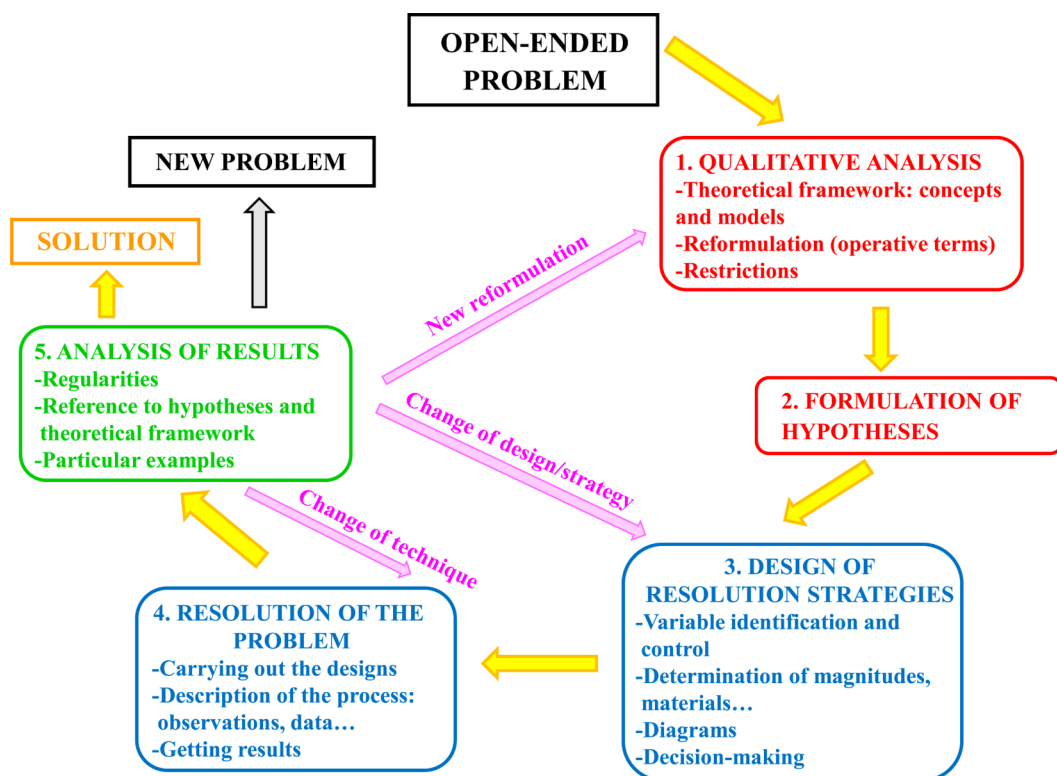


Figure 1. Stages and characteristics of the MPSI as a cyclic process.

- Future teachers should personally experience IBSE methods and reflect on their nature, by taking part in inquiry processes themselves and receiving feedback from experts. Moreover, the practical phases of these programs provide excellent opportunities to implement these methodologies.^{15,17}

There has already been some research done in the area of IBSE with preservice secondary science teachers. In one study, which is quite similar to our own research, a project-based distance learning approach was taken to analyze a series of videos about different teaching practices.¹⁶ In our case, stemming from a previous project about primary teacher training,¹⁴ we propose a face-to-face program based on the resolution of *professional problems*. The way in which our proposal differs from previous ones^{13,15–17} is that in order to design classroom activities we focus specifically on the use of teaching units based on *sequences of open-ended problems*. In addition, as it will be explained in the paper, we consider the necessity of taking the role of secondary school students, and for that purpose preservice teachers are asked to solve an inquiry-based sequence of chemistry problems.

The context of this research is the physics and chemistry specialization of the Spanish one-year Master's in Secondary Education (MSE). This is a necessary requirement for working as a teacher in secondary education (ages 12–18), whose main characteristics are explained in the [Supporting Information](#).

■ THEORETICAL FRAMEWORK: METHODOLOGY OF PROBLEM-SOLVING AS AN INVESTIGATION

In this paper we will look at problem-based learning (PBL) as a methodology of inquiry, with a specific focus on the methodology of problem solving as an investigation (MPSI)¹⁹ in the context of the MSE for physics and chemistry teachers.

Research on the implications of this methodology has previously been carried out on secondary school classes^{8,19–22} and primary school teacher training programs¹⁴ by our department, but this will be our first comprehensive study of its use in the Master's program. Our previous studies gave us very good results in terms of both conceptual and procedural change^{8,14,21} of students and their attitudes toward science and its learning.^{20,21}

The MPSI is designed to solve *authentic problems*, both experimental and theoretical, which consist of open-ended statements (without data and with various possible solutions). For this reason, the five stages of the methodology resemble the ways of working of a novice researcher in a research team¹⁹ (see Figure 1).

An initial step in problem solving should consist of a *qualitative analysis* (stage 1), describing an appropriate theoretical framework (the implied concepts and models) and reformulating the problem in operative terms. Then students would *formulate* their *hypotheses* (stage 2), and these conjectures will orientate the whole resolution, indicating the parameters to keep in mind when analyzing the results. The next step consists of developing one or more *resolution strategies* (stage 3) to check the validity of the hypotheses and the theoretical framework. For this purpose, independent, dependent, and control variables should be identified, along with the materials and magnitudes to be considered. The next task is the *resolution of the problem* (stage 4), taking note of the observations and measurements, and verbalizing the entire process. The final step is the *analysis of results* (stage 5), with reference to the hypotheses and the initial qualitative analysis. This phase consists of testing the internal validity of the whole resolution, and as such could give rise to new questions and problems. Therefore, these stages should not be understood as

Table 1. Comparison of Content and Assessment Criteria about Chemical Changes with an Aligned Sequence of Open-Ended Problems Considered in the Teaching Unit

Third Level (Ages 14–15) Spanish Education Curricular Requirements		
Content	Assessment Criteria	Teaching Unit: "Change and Diversity in Nature" Sequence of Open-Ended Problems: What might happen when...
Physical and chemical changes	Distinguish between physical and chemical changes by realizing simple experiments.	1. ...Two substances are placed into contact with each other?
Chemical reaction	Characterize chemical reactions as changes of some substances into others.	2. ...Water is added to a substance?
Simple stoichiometric calculations	Describe, at the molecular level, the process by which reagents are transformed into products.	3. ...A substance is heated up?
Law of conservation of mass	Deduce the law of conservation of mass and recognize reagents and products by means of simple laboratory experiments.	4. ...Electricity passes through a substance?

a linear sequence, but rather as a cyclical process which allows for successive revisions.

The fact that the MPSI gives such importance to the qualitative analysis of open-ended problems and their reformulations allows for improvement in terms of not only procedural but also conceptual skills.²³ Therefore, this methodology is advisable according to the general international consensus for the development of *scientific competencies*. Moreover, during this whole process the teacher is expected to promote verbalization as a fundamental aspect of metacognitive development, and guide the students to *learn how to learn*.

■ OBJECTIVES

This study will focus on the use of a problem-based learning (PBL) methodology in the MSE context. As such, the objectives that guided this study included the following:

1. Describe an initial teacher-training proposal for the inclusion of the MPSI in the teaching and learning of secondary school chemistry, with a specific focus on the roles of the students and the professor.
2. Analyze the level of achievement by future physics and chemistry teachers, in terms of the MPSI dimensions of scientific competencies, when solving the open-ended problem "What might happen when two substances are placed into contact with each other?" (the first of a sequence of problems).

■ METHODOLOGY

This is a descriptive and qualitative case study set in the context of educational research. The sample consisted of a class group enrolled in the MSE in the Universidad Complutense de Madrid (UCM). It was made up of 17 students (average age 28.2; 8 female and 9 male; 6 chemistry graduates, 6 physics graduates, and 5 with other degrees, mainly engineering) who submitted the written report about the considered open-ended problem within the deadline.

In order to develop the first objective of this study, we have considered the following question: How did we work with the MPSI in the chemistry education subject of the Master's program? In this paper we will specifically describe the resolution of the previously mentioned problem about chemical change.

With regard to the second objective of the research, the data was obtained from the individual reports that the MSE students wrote a week after ending the experiments, in terms of the MPSI stages (see Figure 1). In order to make the analysis

easier, stages 1 and 3 were divided into the following competence dimensions (CD).

- CD1.1: Qualitative representation of the problem (theoretical framework)
- CD1.2: Reformulation of the problem
- CD3.1: Variable identification and control
- CD3.2: Decision making for the problem

For the analysis, first the problem was solved according to what was expected as a satisfactory level for the MSE. Following this, achievement levels were established in terms of the competence dimensions. A precise definition of these levels for the problem is shown in the [Supporting Information](#), but all of them follow these rules:

- Level 0: Irrelevant answer
- Level 1: The answer lacks important information or contains important mistakes
- Level 2: Average answer that lacks some information or contains small mistakes
- Level 3: Good answer, although some information is missing
- Level 4: Very good answer

The consensus of the two researchers was required for this analysis and the subsequent coding of the reports. Finally, in order to take a wider perspective of the relative success of future teachers in terms of the aforementioned competence dimensions (CD), the average resolution level between 0 and 4 and the standard deviations were calculated for each CD, similarly to other studies.^{19,21}

The results of this paper will correspond to the first open-ended problem of a sequence, with the intention of shedding light on the future teachers' initial difficulties related to thinking scientifically.

■ OBJECTIVE 1: HOW DID WE WORK WITH THE MPSI IN THE CHEMISTRY EDUCATION SUBJECT OF THE MASTER'S PROGRAM?

The chemistry education subject in which the study was done consists of project-based learning about a variety of professional problems such as content selection, design of learning activities, and assessment of the teaching and learning process. The students constructed their knowledge collaboratively under the supervision of the professor and, for their assessments, designed a teaching unit that was made up of all the aspects they had developed during the course.

For this paper we considered the following professional problem: "What activities should be included in a teaching unit, and how can they be designed?" During its development the MSE students were introduced to the MPSI through a teaching

unit devised by the professor called “Change and Diversity in Nature”. This proposal was based on a sequence of open-ended problems to tackle chemical reactions, in accordance with Spanish curricular requirements for students at ages 14–15, as indicated in Table 1. In this way it is considered that the future teachers’ learning, both of and through the MPSI, and their subsequent reflections form an essential basis on which to facilitate the learning of their future secondary school students.

How Did We Introduce the Problem “What Might Happen When Two Substances Are Placed into Contact with Each Other?”

First of all, it was necessary to familiarize the future teachers with the MPSI. In order to do this, preservice teachers had to start solving the open-ended problem “Which piece of paper absorbs more?” without any scaffolding.²² Their answers showed that they concentrated their efforts on the resolution strategies (although they did not consider some important control variables, either explicitly or implicitly), and they did not qualitatively analyze the problem. Following this, the professor presented the educational justification of the MPSI, and later the methodology was used for the resolution of the previous problem about pieces of paper. During this process, the professor provided an instruction sheet, which is shown in the Supporting Information.

The MSE students were then asked to develop the first three stages of the MPSI (the research planning) of the open-ended problem analyzed in this paper for homework. Then, in the next class session of 90 min they did practical laboratory experiments to solve the problem, in collaborative groups that were established at the beginning of the course by the professor. Each group contained at least one physics graduate and one chemistry graduate. Finally, each preservice teacher had to submit an individual report communicating the five stages of problem solving according to the MPSI within a week.

For the practical experimental work two solids of a similar appearance (white and crystalline, both water-soluble) identified as “A” and “B” were provided. Taking this information into account, the groups had to revise and finalize their resolution proposals.²⁴ In Figure 2 the minimum required materials are shown. These materials are basic, inexpensive laboratory equipment, although the MSE students were freely

able to use other resources from the chemistry laboratory of the UCM Facultad de Educación.

The proposed substances were small quantities of lead(II) nitrate, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, and potassium iodide, KI. This chemical reaction is very common at both secondary school and university levels because of its educational value, as it can be easily analyzed in terms of color and solubility. However, the activity we implemented was presented in a different way, as an open-ended problem that allowed the MSE students to work with a variety of chemical concepts and procedures (see a complete guide of the activity in the Supporting Information, where some hazards are also described). In the following section we will describe our way to work in order to facilitate the resolution of the problem.

How Was the Problem Solved? On the Roles of the MSE Students and the Professor

The process of teaching and learning through the MPSI should take place in cooperative, learner-centered groups, with the assistance of the teacher in order to help them to construct knowledge. Therefore, working with this IBSE-method implies changing the traditional roles of students and teachers during problem-solving.¹⁸ As such, during this process in the MSE, the professor used the strategy of posing questions to the students in order to orientate the process.²⁵

At the beginning of the practical stage of the problem a majority of the MSE students proposed producing water solutions of the substances, which is the “classical” way of promoting chemical reactions. In these cases, the professor was able to redirect the students’ proposals using questions such as “If you use water, wouldn’t you be placing three substances into contact with each other? Is there an alternative way...?” In reality, one of the proposed substances (KI) is hygroscopic, so there is no need to make solutions of the substances. Therefore, this activity encourages reflection about the different ways in which contact between two substances could take place in nature.

After this initial reflection, several groups of MSE students started to place the two substances in contact in solid states, but in different ways. Some of them added small quantities of “A” and “B” to a test tube, and having not perceived any visual change said “nothing happened”. These kinds of statements are typical when dealing with the topics of physical and chemical changes, as it seems that “something happens” only when there is an emission of gas, an explosion, a change in color, and so on. For this reason, these facts bring us to question the use of only “visually attractive activities” in chemistry, as they could mask the true extent of these changes.

However, other preservice teachers who lightly shook the test tube did start to notice a change in color from white to yellow, although they were unable to do so as clearly as those who chose to use a mortar (see Figure 3). Consequently, when comparing their procedures with each other, the groups were able to reflect on the influence of the contact surface or the length of time that “A” and “B” are in contact.

At that moment, the idea that a chemical reaction had taken place had already emerged. This was an appropriate time for the professor to pose questions such as “Is a change in color enough to determine the type of change that has occurred? Does this change necessarily imply a chemical reaction?” That is, the preservice teachers were indirectly suggested to test this hypothesis in a practical way.



Figure 2. Proposal of minimum materials to solve the open-ended problem.

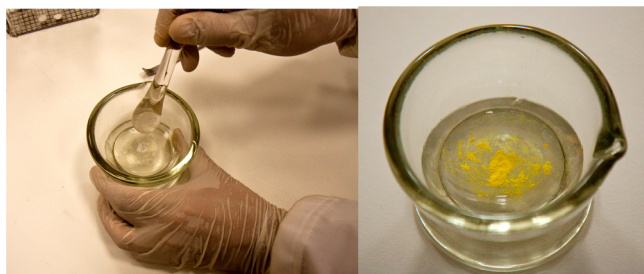
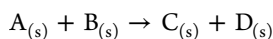
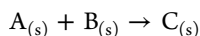


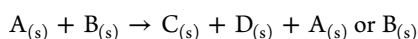
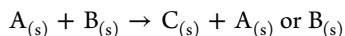
Figure 3. Change in color of the sample after using a mortar, from white to yellow.

A possible procedure to determine whether a chemical reaction has occurred is to analyze changes in characteristic properties, both physical (e.g., melting points or solubility) and chemical (e.g., thermal decompositions), taking into account the available resources in school laboratories. As a result of group reflection, the property of solubility was proposed as a criterion to determine the type of change (and it was concluded that the change was effectively chemical).

After these experiments, the future teachers were advised of the need to characterize what had taken place using symbolic representations. Some of their proposals included:



This was a good opportunity to tackle questions such as “Would you end up with just ‘C’, or just ‘C’ and ‘D’?” The purpose of this is to activate preservice teachers’ knowledge about limiting and excess reagents, and favor its application to the activity. In this way new proposals were made:



As such, some MSE students stated, “The second proposals are more likely to have happened, as we haven’t worked with stoichiometric proportions.” At this point, preservice teachers were able to design strategies to practically determine the limiting and excess reagents, characterize the reagents and products, and other relevant aspects that are included in the guide for the activity (see [Supporting Information](#)).

Here we need to point out that, in the Spanish school curriculum for students aged 16 and under, chemical reaction concept constructions are limited to reactions completely displaced toward the products. Consequently, this fact implies a didactic transposition which assumes chemical changes as irreversible.

In terms of the analysis of results, microscopic representations of the process were promoted, an aspect which has been explored in other research contributions to this *Journal*.^{26–28} Our proposal (see [Figure 4](#)) starts from particular microscopic situations represented according to Dalton’s model, and all these situations lead to a unique chemical equation with stoichiometric proportions. Therefore, instead of being simply an algebraic procedure, this procedure for balancing chemical equations focuses on its chemical interpretation.

As a final reflection on the whole learning experience, we believe that the fact that preservice teachers were able to observe the “real” role of the professor as a guide in the MPSI

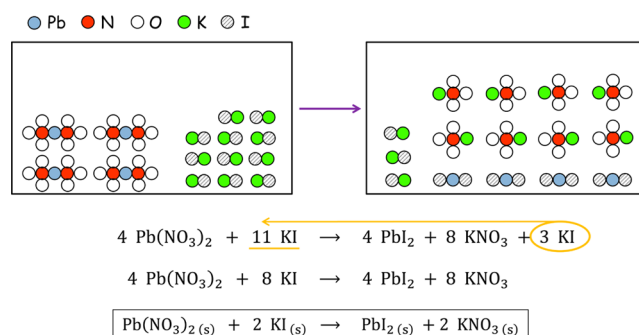


Figure 4. Obtaining a balanced chemical equation starting from a particular microscopic situation, considering the law of conservation of mass and the states of matter. (In accordance with the kinetic molecular theory, solid substances are drawn by following some regularity patterns, although this is not done in a three-dimensional way.)

will prompt reflection on the role which they should adopt in their future classes.

■ OBJECTIVE 2: RESULTS FROM PRESERVICE TEACHERS’ WRITTEN PRODUCTIONS

We studied how the described group of preservice teachers wrote their reports about the previously explained open-ended problem. The frequencies of the achievement levels and their mean values for each competence dimension are shown in [Table 2](#).

Table 2. Distribution of Achievement Level Frequencies, Mean Values, and Standard Deviations

Competence Dimension Measured		Student Response (n = 17) Frequencies at Each Level ^a					Scores ^b (n = 17)	
		L0	L1	L2	L3	L4	Mean	SD
CD1.1	Qualitative representation	0	7	3	5	2	2.12	1.08
CD1.2	Reformulation of the problem	3	2	3	4	5	2.35	1.45
CD2	Formulation of hypotheses	0	1	4	4	8	3.12	0.96
CD3.1	Variable identification and control	1	7	2	4	3	2.06	1.26
CD3.2	Decision making for the problem	1	4	7	4	1	2.00	0.97
CD4	Resolution of the problem	0	2	6	7	2	2.53	0.85
CD5	Analysis of results	0	5	6	6	0	2.06	0.80

^aThe levels range from 0 (irrelevant answer) to 4 (very good answer).

^bScores were determined by assigning an achievement level to each answer using a rubric (see the [Supporting Information](#)); thus, scores range from 0 to 4.

Concerning the formulation of hypotheses (CD2), the results obtained were very good and 47% of the preservice teachers wrote responses classified at level 4, such as “When placing two substances in contact they will react, causing a chemical change and producing new substances. It will be an irreversible change.” (Student 17.) In other similar studies (although not with Master’s students), the results in CD2 seem to very much depend on the context of the problem, being

better for the cases in which the statements are more relevant to the students.^{19,21}

With regard to the resolution of the problem (CD4), judging by the high achievement levels, it seems that future teachers were more used to describing experimental procedures, observations, and data (objectives of this step) rather than analyzing them, or planning the resolution strategy by themselves. In fact, the results in the third step of the MPSI—variable identification and control (CD3.1) and decision making for the problem (CD3.2)—were the worst in this study (see Table 2). However, the mean achievement levels were not lower than 2. In order to provide a clearer picture of future teachers' responses, Table 3 shows some

Table 3. Classification of Answers for “Variable Identification and Control”, CD 3.1, by Achievement Level

Level ^{a,b}	Examples of Student Answers (<i>n</i> = 17) Assigned to the Respective Achievement Levels
1	Dependent variable: chemical transformations, degree of mixing, state of aggregation of matter Independent variable: reagents' composition Control variables: atmospheric temperature and pressure [Student 16; Representative of 41%]
2	Dependent variable: reactivity of A with B (they react or do not react) Independent variable: temperature Control variable: atmospheric pressure [Student 13; Representative of 12%]
3	Independent variable: type of substances (their nature and properties) Dependent variable: type of reaction that happens (chemical reaction) [Student 14; Representative of 24%]
4	Dependent variable: physical change (hypothesis 1) or chemical change (hypothesis 2) Independent variable: type of substances Control variable: temperature [Student 12; Representative of 18%]

^aLevel 1: The answer contains important mistakes. Level 2: Average answer that contains some mistakes. Level 3: Good answer, although some information is missing. Level 4: Very good answer. ^bResponses were determined to be at level 0 (irrelevant answer) for 6% of students.

examples of different achievement levels for CD3.1. The MSE students who obtained a level 2 in this competence dimension correctly identified the dependent variable, while those with level 3 were also able to identify the independent variable. The students who achieved level 4 additionally managed to include some control variables.

As for the steps of the qualitative analysis of the problem, the results in its reformulation (CD1.2) were better than those of the qualitative representation (theoretical framework, CD1.1), as can be seen in Table 2. Future teachers were more successful in providing an operative statement for the problem than in developing a theoretical framework that focused on physical and chemical changes. An example of CD1.2 from each extreme of the scale would be as follows.

- Level 1: “Mix’ two solid substances in order to deduce what happens.” (Student 4, representative of 12%)
- Level 4: “We will check if the two substances that are placed in contact with each other cause a chemical reaction (irreversible process) or if simply a physical

change occurs (reversible process).” (Student 2, representative of 29%)

Moreover, in Table 4 the explanations of the chemical contents in the theoretical frameworks (CD1.1) of four future

Table 4. Chemical Content Some MSE Students Described in the “Qualitative Representation of the Problem”, CD 1.1, by Achievement Level

	Student 10 Level 1 ^{a,b}	Student 8 Level 2 ^{a,b}	Student 2 Level 3 ^{a,b}	Student 12 Level 4 ^{a,b}
Chemical Content Concepts				
Matter	+	+	+	
Chemical substance	+	+	+	+
Element		+	+	+
Compound		+	+	+
Properties of substances (physical and chemical)		+	+	+
Solubility as a property		+	+	+
Physical change		+	+	+
Examples of physical changes				+
Chemical change (reaction)		+	+	+
Reagents and products			+	+
Change in macroscopic properties		+	+	+
Microscopic view of a reaction			+	
Symbolic representation (chemical equation)				+
Examples of chemical reactions				+
Reversibility/irreversibility of changes		+	+	+
Law of conservation of mass			+	+
Dalton's model	+			+
Contact between substances				+
Possibilities for contact depending on the state of matter				+

^aLevel 1: The answer lacks descriptions of most of the concepts related to the problem. Level 2: Average answer that lacks some explanations. Level 3: Good answer, although some information is missing. Level 4: Very good answer. ^bThe empty spaces in the columns indicate some concepts that were not explained by the MSE students.

teachers are shown; they were classified between levels 1 and 4. It can be noted that what marks the difference between the higher and lower levels is the development of aspects associated with chemical change (with its three levels of representation), which is the key to the problem. In addition, those who achieved the highest level were able to explain what comprises contact between two substances.

Finally, concerning the analysis of results (CD5), although six of the preservice teachers obtained a level 3 here (35%), none of them achieved level 4, which would include a thorough explanation with reference to the theoretical framework and hypotheses described. Table 5 shows some answers at different achievement levels. We can observe that Student 11 (level 1) shows confusion with the analysis, probably because of the openness of the problem. The example of a level 2 answer makes reference to the hypothesis, but does not include experimental evidence to support the analysis. On the other hand, Student 5 (level 3) provides practical information in the

Table 5. Classification of Answers for “Analysis of Results”, CD 5, by Achievement Level

Level ^a	Examples of Student Answers (<i>n</i> = 17) Assigned to the Respective Achievement Levels
1	It is very difficult to get quantitative results without having any starting data. However, we have been able to see a chemical reaction in this process. We could not also determine the stoichiometry of the reaction [Student 11; Representative of 29%]
2	We can conclude that hypothesis 1 is correct due to the chemical reaction that occurred when placing the two substances in contact. We obtained a new substance with different properties. This was an irreversible reaction. [Student 3; Representative of 35%]
3	In this activity, the two substances that were placed in contact gave rise to a chemical reaction. In particular, by means of the design proposed for testing hypothesis 1, we clearly observed how the two compounds A and B reacted after grinding them. We obtained a yellow compound C, totally different from the initial ones. Substance C was water insoluble, whereas A and B were soluble. It would have been interesting to see what happens when placing water solutions of A and B in contact. [Student 5; Representative of 35%]

^aLevel 1: The answer lacks important information or contains important mistakes. Level 2: Average answer that lacks some explanations. Level 3: Good answer, although some information is missing.

explanation, but still lacks symbolic and microscopic representations of the process.

CONCLUSIONS

In this article we have presented a proposal for preservice science teacher training within the Spanish MSE program. In addition, we have provided detailed guidelines to implement an open-ended problem about chemical change, which could also be useful for secondary education levels.

Contrary to what people may think, inquiry-based methods such as the MPSI require greater teacher involvement than in transmissive methodologies.²⁵ Moreover, they demand a revision of the traditional roles of both teachers and students in the learning process.¹⁸ Therefore, in the *first part* of the paper we explained the necessity of providing opportunities to future teachers to participate in inquiry processes themselves. In this way, preservice teachers can properly reflect on the characteristics of these methodologies and their benefits for science education.

It is important to reflect that despite the considerable degree of openness of the initial problems, the scaffolding provided by the teacher is fundamental to the MPSI. This feature helps to overcome possible student resistance¹ (because of their need to become responsible for their own learning) and allows for the appropriate reformulation of the initial statements. Additionally, good design and planning processes are essential in order to promote effective learning.²⁹ As such, possible alternative conceptions and student difficulties must be taken into account. For these reasons, we believe that directly experiencing how a qualified teacher provides scaffolding is especially valuable for the challenge of including IBSE methods in their future secondary school teaching.

With regard to the second objective of this study, the results we obtained from their written reports of the first open-ended problem of the sequence indicate that at this stage future teachers did better at describing the resolution of the problem (CD4) and formulating hypotheses (CD2). However, they had more difficulty identifying variables (CD3.1), which is perhaps because they are less frequently analyzed in chemistry. They also had issues making decisions to solve the problem (CD3.2) and critically analyzing the results (CD5).

These results suggest that future teachers may find it easier to carry out experimental work in a guided way (following laboratory guide notes), possibly because of the way in which they have learned in their previous studies.⁵ Moreover, the results point out some deficiencies in preservice teachers related to thinking scientifically, and bring us to rethink the way in which practical activities are developed at university levels.

It should be noted that in this paper we focused on only the first stage of the learning proposal. Consequently, we have not

included the corrections and group feedback of the MSE students,³⁰ nor the resolution of the other problems of the sequence. In accordance with results we have previously obtained in the context of preservice primary teacher training,¹⁴ we would expect that these aspects of the learning process would facilitate improvement of the scientific competencies included in the MPSI. In addition, more examples covering content at different school levels should be developed, and future teachers should be encouraged to design other open-ended problems with feasible solutions (providing the corresponding hypotheses and resolution strategies).

On the other hand, at present we are carrying out research in some groups of physics and chemistry preservice teachers who have worked with the MPSI in their MSE program, in terms of their views on this methodology. In general, they emphasize the usefulness of the MPSI for encouraging secondary school students to become familiar with scientific procedures, and developing positive attitudes toward science as a whole. However, they also highlight the difficulty involved in applying the MPSI. Moreover, it is noteworthy that we have found a statistically significant correlation between future teachers' traditional or constructivist beliefs and their opinions on the MPSI.

For all of the above reasons, in the future it is recommended to continue this line of research, together with the analysis of the future teachers' improvement as they progress with the learning process. Equally, we think that it would be useful to carry out similar studies, as it has been suggested that the reactions to inquiry-based methodologies strongly depend on the context.³¹ In addition, as has been done in some other studies,¹⁵ it would be especially valuable to administer this type of research during the practical teaching phase of teacher training programs.

Even more so, it would be very worthwhile to observe how these students teach when they finally begin working in secondary schools. To what extent do they use inquiry-based methods? And how does this improve the quality of science education?

ASSOCIATED CONTENT

Supporting Information

The Supporting Information is available on the ACS Publications website at DOI: 10.1021/acs.jchemed.5b01037.

Information about the Spanish Master's in Secondary Education, MPSI Instruction Sheet, detailed guide and hazards, and rubrics (PDF, DOCX)

■ AUTHOR INFORMATION

Corresponding Author

*E-mail: mtzaznar@ucm.es.

Notes

The authors declare no competing financial interest.

■ REFERENCES

- (1) Prince, M. J.; Felder, R. M. The Many Faces of Inductive Teaching and Learning. *J. Coll. Sci. Teach.* **2007**, *36* (5), 14–20.
- (2) Abd-El-Khalick, F.; Boujaoude, S.; Duschl, R.; Lederman, N. G.; Mamlok-Naaman, R.; Hofstein, A.; Niaz, M.; Treagust, D.; Tuan, H.-L. Inquiry in Science Education: International Perspectives. *Sci. Educ.* **2004**, *88* (3), 397–419.
- (3) Linn, M. C.; Davis, E. A.; Bell, P. *Internet Environments for Science Education*; Lawrence Erlbaum Associates: Mahwah, NJ, 2004.
- (4) Hmelo-Silver, C. E.; Duncan, R. G.; Chinn, C. A. Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller and Clark (2006). *Educ. Psychol.* **2007**, *42* (2), 99–107.
- (5) European Commission 2007. *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*; http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocand-on-science-education_en.pdf (accessed June 2016).
- (6) National Research Council. *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*; National Academy Press: Washington, DC, 2000.
- (7) Criswell, B. Framing Inquiry in High School Chemistry: Helping Students See the Bigger Picture. *J. Chem. Educ.* **2012**, *89* (2), 199–205.
- (8) Ibáñez-Orcajo, M. T.; Martínez-Aznar, M. M. Solving Problems in Genetics (II): Conceptual Restructuring. *Int. J. Sci. Educ.* **2005**, *27* (12), 1495–1519.
- (9) Walker, J. P.; Sampson, V. Argument-Driven Inquiry: Using the Laboratory To Improve Undergraduates' Science Writing Skills through Meaningful Science Writing, Peer-Review, and Revision. *J. Chem. Educ.* **2013**, *90* (10), 1269–1274.
- (10) Anderson, R. D. Reforming Science Teaching: What Research Says about Inquiry. *J. Sci. Teach. Educ.* **2002**, *13* (1), 1–12.
- (11) Marshall, J. C.; Smart, J. B. Teachers' Transformation to Inquiry-Based Instructional Practice. *Creat. Educ.* **2013**, *4* (2), 132–142.
- (12) Kirschner, P. A.; Sweller, J.; Clark, R. E. Why Minimal Guidance during Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educ. Psychol.* **2006**, *41* (2), 75–86.
- (13) Etherington, M. B. Investigative Primary Science: A Problem-Based Learning Approach. *Aust. J. Teach. Educ.* **2011**, *36* (9), 53–74.
- (14) Martínez-Aznar, M. M.; Varela, M. P. La Resolución de Problemas de Energía en la Formación Inicial de Maestros. *Enseñanza Cienc.* **2009**, *27* (3), 343–360 (An English summary is included).
- (15) Windschitl, M. Inquiry Projects in Science Teacher Education: What Can Investigative Experiences Reveal about Teacher Thinking and Eventual Classroom Practice? *Sci. Educ.* **2003**, *87* (1), 112–143.
- (16) Steinkuehler, C. A.; Derry, S. J.; Hmelo-Silver, C. E.; Delmarcelle, M. Cracking the Resource Nut with Distributed Problem-Based Learning in Secondary Teacher Education. *Dist. Educ.* **2002**, *23* (1), 23–39.
- (17) Hohloch, J. M.; Grove, N.; Bretz, S. L. Pre-Service Teacher as Researcher: The Value of Inquiry in Learning Science. *J. Chem. Educ.* **2007**, *84* (9), 1530–1534.
- (18) Ertmer, P. A.; Simons, K. D. Jumping the PBL Implementation Hurdle: Supporting the Efforts of K–12 Teachers. *Interdiscip. J. Probl.-Based Learn.* **2006**, *1* (1), 40–54.
- (19) Martínez-Aznar, M. M.; Ibáñez-Orcajo, M. T. Solving Problems in Genetics. *Int. J. Sci. Educ.* **2005**, *27* (1), 101–121.
- (20) Ibáñez-Orcajo, M. T.; Martínez-Aznar, M. M. Solving Problems in Genetics (III): Change in the View of the Nature of Science. *Int. J. Sci. Educ.* **2007**, *29* (6), 747–769.
- (21) Bárcena, A. I. *A Study of the Influence of Problem-Solving Methodology as an Investigation (PSMI) on Learning Chemistry in High-School Students*; Ph.D. Thesis; Universidad Complutense de Madrid: Madrid, 2015. <http://eprints.ucm.es/30524/1/T36151.pdf> (accessed June 2016) (English summary provided on pp 545–551).
- (22) Rodríguez-Arteche, I.; Martínez-Aznar, M. M.; Garitagoitia-Cid, M. A. La Competencia sobre Planificación de Investigaciones en 4º de ESO: Un Estudio de Caso. *Rev. Compl. Educ.* **2016**, *27* (1), 329–351 (Abstract in English is included).
- (23) Windschitl, M.; Thompson, J.; Braaten, M. Beyond the Scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations. *Sci. Educ.* **2008**, *92* (5), 941–967.
- (24) Before the practical session, MSE students designed a variety of resolution strategies for solid, liquid, and gaseous substances.
- (25) Crawford, B. A. Embracing the Essence of Inquiry: New Roles for Science Teachers. *J. Res. Sci. Teach.* **2000**, *37* (9), 916–937.
- (26) Ghirardi, M.; Marchetti, F.; Pettinari, C.; Regis, A.; Roletto, E. A Teaching Sequence for Learning the Concept of Chemical Equilibrium in Secondary School Education. *J. Chem. Educ.* **2014**, *91* (1), 59–65.
- (27) Bridle, C. A.; Yezierski, E. J. Evidence for the Effectiveness of Inquiry-Based, Particulate-Level Instruction on Conceptions of the Particulate Nature of Matter. *J. Chem. Educ.* **2012**, *89* (2), 192–198.
- (28) Nurrenbern, S. C.; Pickering, M. Concept learning versus problem solving: Is there a difference? *J. Chem. Educ.* **1987**, *64* (6), 508–510.
- (29) Hung, W. The 9-Step Problem Design Process for Problem-Based Learning: Application of the 3C3R Model. *Educ. Res. Rev.* **2009**, *4* (2), 118–141.
- (30) Taconis, R.; Ferguson-Hessler, M. G. M.; Broekkamp, H. Teaching Science Problem Solving: An Overview of Experimental Work. *J. Res. Sci. Teach.* **2001**, *38* (4), 442–468.
- (31) Hung, W.; Loyens, S. M. M. Global Development of Problem-Based Learning: Adoption, Adaptation, and Advancement. *Interdiscip. J. Probl.-Based Learn.* **2012**, *6* (1), 4–9.

■ SUPPORTING INFORMATION 1

INFORMATION ABOUT THE SPANISH MASTER'S IN SECONDARY EDUCATION

In the article we have focused on the Spanish program for initial physics and chemistry teacher training: the one-year Master's in Secondary Education (MSE).¹ The MSE has been necessary requirement for working as a teacher in secondary education (ages 12-18) since the academic year 2009-2010, following the European convergence on education.² In Spain, the consecutive model of education is used, whereby in order to enroll in the program it is necessary to have completed a degree in physics, chemistry, engineering or related areas. All these graduates study the same '*physics and chemistry*' specialization, as there is no distinction between these subjects in Spanish schools until the final year of secondary education (ages 17-18).

The purpose of the MSE is to provide the necessary *professional knowledge*, which according to Shulman includes (ref 3, p 8):

«Content knowledge, general pedagogical knowledge, curriculum knowledge, pedagogical content knowledge, knowledge of learners and their characteristics, knowledge of educational contexts, and knowledge of educational ends, purposes and values»

In order to better understand the context of the research, Table 1 shows the subjects of the Master's program, which are organized into three different modules.⁴ In our university (UCM, Universidad Complutense de Madrid), the generic and specific modules are taught at the beginning of the MSE (from October to February), whereas the Practicum period comes at the end (from February to May).

Table 1. General organization of the Master's in Secondary Education

MSE subjects	Minimum number of ECTS credits *	
<i>Generic module (for all Master's specializations):</i>		
Learning and personality development	12	
Educational processes and contexts		
Society, family and education		
<hr/> <i>Specific module:</i>		
Complements for disciplinary training	24	
Teaching and learning of the subjects **		
Educational innovation and introduction to research	16	
<hr/> <i>Practicum period:</i>		
Practical teaching phase and Master's Thesis		

* 1 ECTS credit = 25 hours of student work

** In the UCM program there are two different subjects for the 'physics and chemistry' specialization: Physics Education and Chemistry Education. The latter one is the subject where this research is carried out.

REFERENCES:

- (1) Perales, F. J.; Cabo, J. M.; Vílchez, J. M.; Fernández-González, M.; González-García, F.; Jiménez-Tejada, P. (2014). La reforma de la formación inicial del profesorado de ciencias: propuesta de un diseño del currículo basado en competencias. *Ensen. Cienc.* **2014**, 32(1), 9–28 (it includes an English summary).
- (2) Keeling, R. The Bologna process and the Lisbon research agenda: The European Commission's expanding role in higher education discourse. *Europ. J. Educ.* **2006**, 41(2), 203–223.
- (3) Shulman, L. S. Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educ. Rev.* **1987**, 57 (1), 1–22.
- (4) Spanish Ministry of Education and Science 2007.
<http://www.boe.es/boe/dias/2007/12/29/pdfs/A53751-53753.pdf> (accessed Mar 2016).

■ SUPPORTING INFORMATION 2

INSTRUCTION SHEET GIVEN TO STUDENTS FOR SOLVING OPEN-ENDED PROBLEMS

RESEARCH MODEL FOR SOLVING OPEN-ENDED PROBLEMS
‘METHODOLOGY OF PROBLEM-SOLVING AS AN INVESTIGATION’ (MPSI)

REPRESENTATION OF THE OPEN-ENDED PROBLEM

1. Qualitative analysis of the open-ended problem

Understanding and representation of the problem (theoretical framework)
Reformulation of the problem in operative terms
Restriction of conditions

2. Formulation of hypotheses

Formulation of hypotheses to guide the solving process, indicating the parameters to keep in mind

RESOLUTION OF THE OPEN-ENDED PROBLEM

3. Design of resolution strategies / experimentation

Variable identification and control (independent, dependent and control variables)
Determination of magnitudes to be measured for solving the problem, along with the necessary materials
Diagrams to represent the strategies
Establishment of analogies with previously solved problems
Decision-making for solving the problem

4. Resolution of the problem / development of the experiments

Carry out the designs
Description of the process followed: observations, registering of the data...

ANALYSIS OF THE OPEN-ENDED PROBLEM



5. Analysis of results


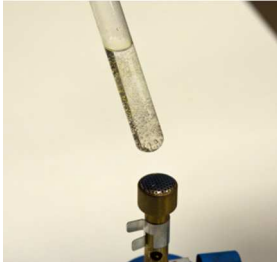
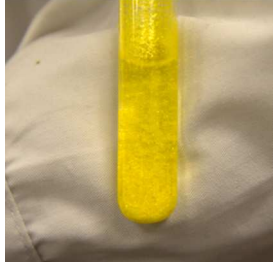
Search for regularities in the data
Interpretation of the results with reference to the hypotheses and the initial theoretical framework
Getting numerical results, checking the units, orders of magnitude...

■ SUPPORTING INFORMATION 3

GUIDE FOR THE ACTIVITY 'WHAT MIGHT HAPPEN WHEN TWO SUBSTANCES ARE PLACED INTO CONTACT WITH EACH OTHER?'

Description of some aspects that could be worked on within the open-ended problem, and possible questions the teacher could ask in order to elicit them

Content	Description	Possible questions to induce the content
<p>Contact and color</p>	<p>Because of the hygroscopic nature of KI, a chemical reaction occurs when placing $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ and KI into contact with the help of a mortar. This is noticeable because of a change in color of the system, from white to yellow. As the statement of the problem indicates that <i>two</i> substances have to be placed into contact, it is suggested to use a mortar instead of using solutions to place them together.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>	<ul style="list-style-type: none"> How can you place <i>two</i> substances into contact with each other? How have you observed the change in color? What does it imply?
<p>Characteristic properties</p>	<p>A proper criterion to determine whether a physical or chemical change has occurred is to analyze changes in characteristic properties. For the substances proposed here, or others, it is possible to carry out a qualitative analysis of solubility. Water could be added to the obtained yellow substance (PbI_2), which would produce a heterogeneous mixture. In contrast, the initial substances KI and $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ are both soluble, so the type of change is chemical.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Is a change in color enough to determine which type of change has occurred? (physical/chemical) Could your hypotheses be tested with the materials available in the laboratory? How?
<p>Reversibility of changes</p>	<p>The chemical reactions of our framework are complete, since incomplete ones are not studied in detail until the final school levels before university. Therefore, they can be considered as irreversible processes, whereas physical changes are reversible. As such, trying to prove the reversibility of the process with a mixture separation technique constitutes another strategy to determine the type of change.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Could you reverse the substances to how they were at the beginning? How could you try to do so?
<p>Limiting and excess reagents</p>	<p>In contrast with classical exercises, this problem without stoichiometric proportions (the substances are unknown) allows for practically determining the limiting and excess reagents, and the property of solubility can be useful for that. If water is added to the final substances, PbI_2 does not dissolve, whereas KNO_3 (the other product) and</p>	<ul style="list-style-type: none"> If your hypothesis of chemical change is correct, starting with two substances A and B, what can you end up with? (...)

	<p>the excess reagent both dissolve. Then, PbI_2 can be filtered, producing a solution where the excess reagent is present. If the reagents are added to this solution, the reaction happens again once the substance complementary to the excess reagent is chosen (a yellow precipitate appears).</p>	<p>Only C? Only C and D? How could you prove this?</p>
Solubility and 'golden rain'	<p>PbI_2 changes from water insoluble to soluble when temperature is increased, which could be tested. After checking it, the mixture could be cooled to try to recover the initial state. However, a change in the crystalline appearance of PbI_2 occurs after a fast cooling process, which resembles 'golden rain'.</p> <p>This observation, a 'classic' in school chemistry, arises without the need of laboratory guide notes.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">    </div>	<ul style="list-style-type: none"> Have you checked whether the final substance(s) are insoluble? Can you say that the yellow substance is insoluble? (...) What have you seen by cooling down the mixture again? What could be the reason for this?
Levels of representation of a chemical reaction	<p>Students' microscopic and symbolic representations of what is happening should be promoted, as a helpful tool to develop a deeper understanding of the problem in terms of the number of products obtained, the aspects of limiting and excess reagents and other information.</p> <p>Some of the symbolic representations that might be proposed by students are:</p> $A_{(s)} + B_{(s)} \rightarrow C_{(s)} \qquad A_{(s)} + B_{(s)} \rightarrow C_{(s)} + A_{(s)}/B_{(s)}$ $A_{(s)} + B_{(s)} \rightarrow C_{(s)} + D_{(s)} \qquad A_{(s)} + B_{(s)} \rightarrow C_{(s)} + D_{(s)} + A_{(s)}/B_{(s)}$ <p>Our proposal for microscopic representations (shown in Figure 4 in the paper) starts from particular microscopic situations represented according to Dalton's model*, and all these situations lead to a unique chemical equation, with stoichiometric proportions. Therefore, instead of being simply an algebraic procedure, this proposal for balancing chemical equations focuses on its chemical interpretation.</p> <p>*Dalton's model is the common choice for students at ages 14-15, except for the cases which explicitly require the exchange of electrons.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Having started with two substances A and B, how can you symbolize the process? And could you represent it on a microscopic scale? Would it be possible to identify the substances which have intervened in the reaction? And knowing them, would you be able to represent what has occurred again? <p>(The teacher could identify A and B at the end, in order to work on these aspects.)</p>

HAZARDS:

Small quantities of the reagents should be considered when carrying out this activity. The intervening substances are lead(II) nitrate and potassium iodide (reagents), lead(II) iodide and potassium nitrate (products), and may cause irritation to the respiratory tract, eyes and skin. Lead(II) nitrate and potassium nitrate are oxidizing agents. The two lead compounds are especially toxic, and their inhalation might cause central nervous system effects. Lead(II) nitrate may carry a fire risk when it comes into contact with organic material.

The activity must take place in a well-ventilated laboratory. All students must wear safety glasses, gloves and lab coats, and follow the general safety rules required in chemistry laboratories. In addition, all waste has to be collected in an appropriate container and disposed according to safety regulations.

For secondary schools, to avoid working with lead compounds, teachers might design other open-ended problems to work on some of the previously described aspects with precipitation reactions. For instance, solutions of AgNO_3 and NaBr , or others of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and Na_2SO_4 could be considered.

■ SUPPORTING INFORMATION 4

ACHIEVEMENT LEVELS FOR THE ANALYZED COMPETENCE DIMENSIONS (RUBRICS TO ANALYZE THE REPORTS)

Tables 1-3 show how the achievement levels were defined for each competence dimension (CD), for the problem ‘*What might happen when two substances are placed into contact with each other?*’ These levels were defined between 0 (students do not answer, or their response is irrelevant) and 4 (their answer is very good), as has been explained in the paper. For the definitions below, the consensus of the two researchers was required.

Table 1. Definition of the achievement levels for the competence dimensions of ‘qualitative representation of the problem (theoretical framework)’ (CD1.1) and ‘reformulation of the problem’ (CD1.2)

Competence Dimension	Level	Description
CD1.1	1	<p>a) They explain basic concepts such as chemical substance, element, compound or mixtures*, but the theoretical framework is not focused on the physical and chemical <i>changes</i> in nature.</p> <p>b) They make important mistakes when explaining concepts as substance, element or physical and chemical changes.</p>
	2	<p>a) In addition to the previous concepts*, they introduce the idea of physical and chemical changes, but the framework is not fully developed according to the concepts that should be used later**.</p> <p>b) They provide a list with many contents that could be relevant (including some related to the concept of <i>contact</i>), but rather than providing explanations, they simply make a list.</p>
	3	They explain concepts such as substance, element, compound, mixture and physical and chemical changes, introducing the ideas of reagents/products and modification of characteristic properties as indicator of the type of change**. They don’t explain what <i>contact</i> means, and don’t mention different possibilities of what could happen depending on the state of matter of the substances.
	4	They explain properly all the previous concepts, introduce what contact implies and mention differences that would arise depending on the state of matter of the proposed substances.
CD1.2	1	The reformulation just consists of a change of some words in the initial question, but the statement is not operative.
	2	They use operative terms to change the initial general question, but there is some inconsistency with the theoretical framework (e.g., in the context of the problem, saying ‘if you <i>mix</i> two substances’ would imply the occurrence of a physical change).
	3	They use operative terms to reformulate the problem, so physical and chemical changes will be considered, but there are some mistakes in the formulation of this paragraph.
	4	They reformulate the problem appropriately, which will consist of identifying the type of change (physical or chemical) that happens when two substances are brought closer.

Table 2. Definition of the achievement levels for the competence dimensions of ‘formulation of hypotheses’ (CD2), ‘variable identification and control’ (CD3.1) and ‘decision-making for the problem’ (CD3.2)

Competence Dimension	Level	Description
CD2	1	They formulate hypotheses which are not related to the objectives of the problem.
	2	The hypotheses are wrong formulated (some conceptual mistakes appear, such as saying ‘mix’ instead of ‘place into contact’), or they anticipate some aspects that arise during the resolution of the problem).
	3	They write statements which are coherent with the problem, but they are not expressed in terms of hypotheses.
	4	In addition to the requirements of <i>level 3</i> , the hypotheses are correctly written.
CD3.1	1	The identification of variables is incoherent with the objectives of the problem, or they are not assigned as independent, dependent and control variables. (However, they might be considered in the designs of the solving strategies).
	2	They correctly identify the <i>dependent variable</i> (physical change/ chemical change, or type of change*), in accordance with their hypotheses.
	3	They correctly identify both the <i>dependent</i> and the <i>independent</i> (type of substances) <i>variables</i> , although in an imprecise way (<i>e.g.</i> , they express the dependent variable* as ‘reactivity’ or ‘type of reaction’).
	4	They identify both the independent and the dependent variables properly. Moreover, they correctly include <i>control variables</i> (temperature and pressure; the study of temperature changes corresponds to the other problem of the teaching unit).
CD3.2	1	The resolution strategy is not well specified. It is just focused on how to place the two substances into contact, but the criteria to determine the type of change that happens do not appear.
	2	<i>a)</i> They briefly describe some possibilities to check the reversibility of the process <i>or</i> whether a change in characteristic properties has occurred. However, they don’t specify clearly their criteria and do not explain the following contents: ‘a chemical change can imply a change in characteristic properties since new substances are produced’ or ‘physical changes are reversible whereas chemical ones are irreversible’ (considering a framework of complete chemical reactions). <i>b)</i> The resolution strategy and the description of the problem resolution (CD4) appear together, and the criteria to solve the problem are not clearly described.
	3	They describe properly their strategies concerning <i>two</i> of the following three contents (the other one is missing): 1) how to place the substances into contact, 2) change in characteristic properties as a criterion, 3) reversibility as a criterion.
	4	They explain the three contents corresponding to <i>level 3</i> appropriately. They could also mention different strategies depending on the states of matter of the proposed substances.

Table 3. Definition of the achievement levels for the competence dimensions of ‘resolution of the problem’ (CD4) and ‘emission of hypotheses’ (CD5)

Competence Dimension	Level	Description
CD4	1	The resolution of the problem is wrong, or the considered steps are insufficient (<i>e.g.</i> , their descriptions only consider the change in color). Their strategy does not allow for answering the research question about what happens when two substances are placed into contact.
	2	Their strategy is adequate but incomplete. <i>Two</i> of the following four aspects are not developed in their descriptions: analysis of the way to place the substances into contact and the subsequent change in color, reversibility of the process, solubility of the intervening substances or the presence of limiting and excess reagents [*] . In several cases, they make some mistakes in their process descriptions (<i>e.g.</i> , concerning the ‘golden rain’, or saying ‘mix’ instead of ‘place into contact’ ^{**}).
	3	The description of the resolution is correct, although <i>one</i> of the four basic aspects described for <i>level 2</i> [*] is not completely explained. In some cases, they describe attempts to determine the intervening substances.
	4	They properly describe their resolution processes considering the four basic aspects previously mentioned [*] , for which experimental evidence is provided. In some cases, they try to determine the substances of the reaction.
CD5	1	<i>a)</i> Some results from the resolution steps are discussed with the description of CD4, but there isn’t a final analysis of results, and any reference is made to the formulated hypotheses based on experimental criteria. <i>b)</i> The analysis is incorrect: the explanations given do not answer the research question.
	2	<i>a)</i> They describe whether the formulated hypotheses have been tested and include some information about it. However, they don’t specify here which are the basic practical criteria that allow for testing the hypotheses. <i>b)</i> They analyze their results considering the hypotheses and some practical criteria, but they make some mistakes in their reasoning (<i>e.g.</i> , they say that there is a single product of the reaction, ‘C’, or make the previously mentioned mistake ^{**}).
	3	<i>a)</i> They analyze their results with reference to the hypotheses and the theoretical framework, and provide experimental evidence ^{***} . <i>b)</i> They correctly analyze their results considering some practical criteria, describe the occurring change on a symbolic level (chemical equation) and try to determine the substances implied in the activity, <i>but</i> they don’t make any reference to their hypotheses.
	4	In addition to the requirements of <i>level 3</i> ^{***} , they represent what has happened on a symbolic level (chemical equation). They <i>could</i> also include some extra proof or try to determine the intervening substances.

Artículo 3

**Open-ended problem solving during
initial secondary education teacher training**

Open-ended problem solving in chemistry during initial secondary education teacher training

Iñigo Rodríguez-Arteche, Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad Complutense de Madrid (Campus de Moncloa), 28040 Madrid, Spain.

M. Mercedes Martínez-Aznar^{*}, Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad Complutense de Madrid (Campus de Moncloa), 28040 Madrid, Spain.

Suggested Citation:

Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (2016). Open-ended problem solving in chemistry during initial secondary education teacher training. *International Journal of Learning and Teaching*. 8(3), 174-186.

Received 15 March, 2016; revised 20 May, 2016; accepted 20 June, 2016;

Selection and peer review under responsibility of Prof. Dr. Hafize Keser, Ankara University, Ankara, Turkey.

©2016 SciencePark Research, Organization & Counseling. All rights reserved.

Abstract

We present a case study of the work with the Methodology of Problem-Solving as an Investigation (MPSI) in the context of the Spanish Master's in Secondary Education. Here, future physics and chemistry secondary teachers had to solve some sequences of school open-ended problems, in order to promote reflection on its characteristics and favour its later use. The objectives of this research consist of describing how the problem "What might happen when a substance is heated up?" was introduced, and analysing preservice teachers' achievement levels in the competence dimensions of the MPSI. In addition, the article justifies the suitability of the above-mentioned problem to work on most of the curricular requirements about physical and chemical changes in a single problem. The results from the future teachers' written reports can be considered as positive, and appear to be best for the "formulation of hypotheses" and worst for the "design of resolution strategies". Moreover, these results do not seem to depend to any great degree on the preservice teachers' previous studies. Finally, we call for the provision of more inquiry-based learning opportunities for future teachers, in order to promote improvement in these scientific competencies and favour a later inclusion of the Inquiry-Based Science Education at school levels.

Keywords: Problem-Based Learning (PBL), Methodology of Problem-Solving as an Investigation (MPSI), preservice secondary education science teachers, physical and chemical changes.

^{*} ADDRESS FOR CORRESPONDENCE: **M. Mercedes Martínez-Aznar**, Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Educación-C.F.P., Universidad Complutense de Madrid.
C/ Rector Royo Villanova s/n, 28040 Madrid, Spain. E-mail address: mtzaznar@ucm.es / Tel.: +34 91394 6265

1. Introduction

Over the last few years, there has been a concern at an international level about the necessity of improving the quality of science education at school level. In this sense, there is a consensus about considering the students' development of *scientific competencies* as a main goal (OECD, 2013) and, in addition, that the problem of an increasing lack of motivation towards science should be solved (OECD, 2006). Taking into account a variety of pieces of research in this field, it has been concluded that one of the key aspects for achieving the aforementioned improvement consists of incorporating inquiry-based methodologies in teaching and learning processes (European Commission, 2007). But what does "inquiry" mean? In order to clarify its meaning, we will provide a definition by Crawford (2007) which is consistent with a view about this approach commonly held in the science education community: «*inquiry involves appreciating the diverse ways in which scientists conduct their work; knowledge of and ability to ask testable questions, make hypotheses; use various forms of data to search for patterns, confirm or reject hypotheses; construct and defend a model or argument; consider alternate explanations, and gain an understanding of the tentativeness of science, including the human aspects of science, such as subjectivity and societal influences*» (page 614).

The *Inquiry-Based Science Education* (IBSE) methods provide students with some problems or dilemmas which they must overcome by learning the necessary content without being given previous explanations. Therefore, the differences between these methodologies lie in the degree of challenge for students, and the level of scaffolding provided by the teacher to guide them (Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007). Among these IBSE methodologies, problem solving-based teaching models (PBL, *Problem-Based Learning*) have shown a great potential to favour inquiry in science classrooms. These approaches provide opportunities for students to develop investigations, integrate theory and practice, and construct knowledge in order to find feasible solutions for problems which do not have "a single solution" (Savery, 2006). In other words, these learner-centred methodologies emphasize students' responsibility for their learning.

As suggested before, the IBSE approach –and PBL in particular– is supported by extensive research which has shown its success in improving students' academic performance in terms of conceptual, procedural and attitudinal contents (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2007; Minner, Levy & Century, 2010). Furthermore, these methodologies have proven their effectiveness in promoting persistent learning in science and fostering students' motivation in different contexts (European Commission, 2007; Martínez-Aznar & Bárcena, 2013; Pavón & Martínez-Aznar, 2014).

On the other hand, applying these methodologies involves some important challenges, such as a change in the roles of students and teachers – in the last case, from being "knowledge transmitters" to being "knowledge activators"– (Hmelo-Silver et al., 2007). The latter requires organizing sequences of learning activities so that the students, starting from their alternative conceptions, can properly revise and change their ideas in order to give meaning to new knowledge. Therefore, in spite of being a student-centred approach, PBL requires greater teacher involvement than is usual in traditional methodologies. In addition, there are some teachers' beliefs that might limit the use of these methods at school, such as the thought that they require a lot of time in the classroom, the presumed difficulty for students to learn by using them, and a supposed lack of teaching materials (Colburn, 2000; Dabbagh & Williams Blijd, 2010).

Because of this change of paradigm, we believe that these inquiry-based methods should form an active part of preservice science teacher education programs. As such, in accordance with other authors (e.g., Etherington, 2011; Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2015), we stand up for the need for these training programs which provide learning opportunities through IBSE methods, in order to promote reflection on their nature and benefits for science education (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016). Otherwise, IBSE methodologies are unlikely to be developed in classrooms.

1.1. Methodology of Problem-Solving as an Investigation (MPSI) as an inquiry-based method

Within the PBL methods, the *Methodology of Problem-Solving as an Investigation* (MPSI) has been proven as an effective approach for science teaching and learning. As such, the MPSI has achieved good results at both primary and secondary education levels (Martínez-Aznar & Bárcena, 2013; Bárcena, 2015; Rodríguez-Arteche, Martínez-Aznar & Garitagoitia, 2016), and in primary school teacher training programs (Martínez-Aznar & Varela, 2009). The MPSI consists of a group of five stages that reflect not only the way in which scientists work, but also the dimensions of scientific competencies included in school curricula. The stages and characteristics of the MPSI are described in

Figure 1. They correspond to a cyclical problem-solving process that must be organized in *cooperative groups* in order to promote an exchange of ideas between students. Moreover, the teacher is expected to provide *scaffolding* when required (Hmelo-Silver et al., 2007), for example by posing questions to the students in order to guide their resolution.

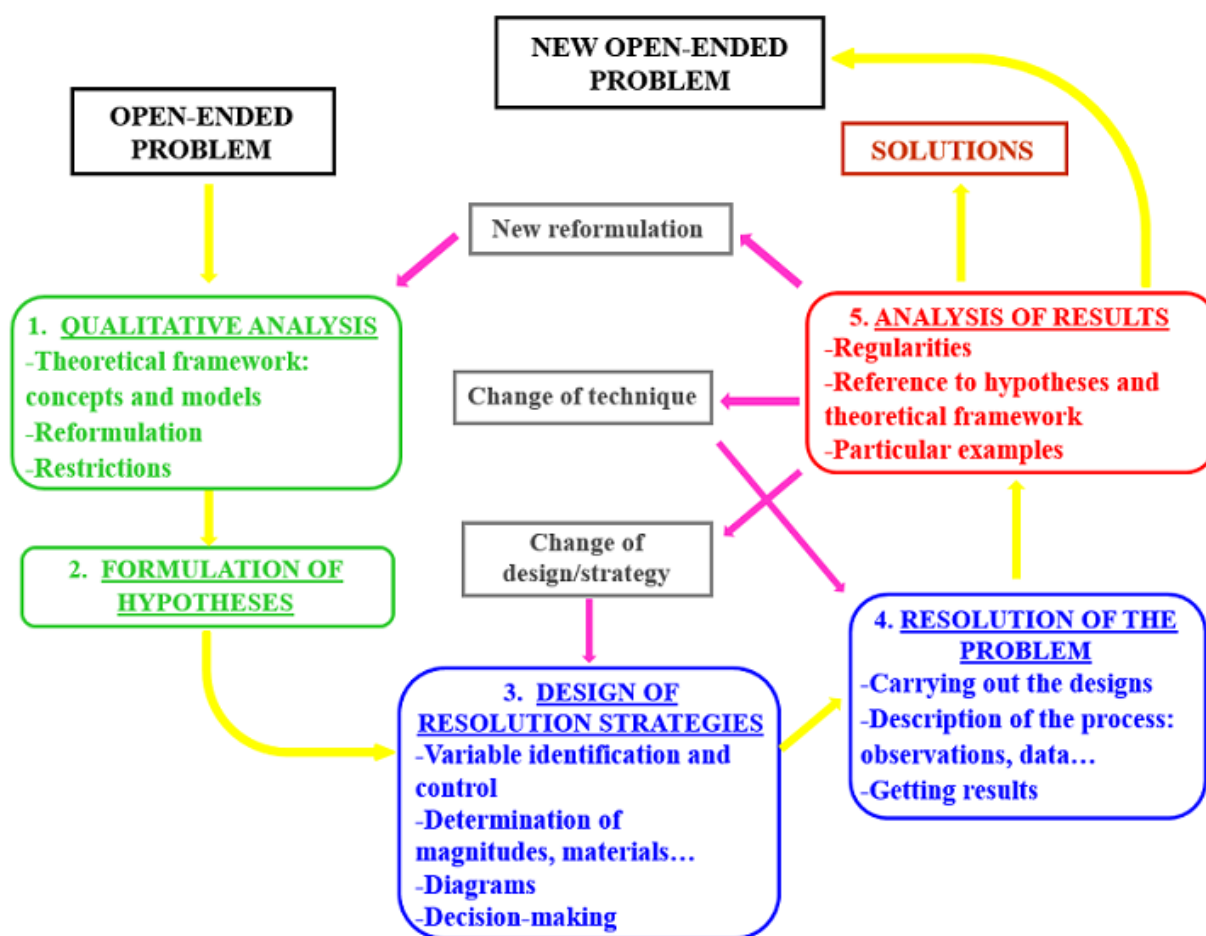


Figure 1: Stages and characteristics of the Methodology of Problem-Solving as an Investigation (MPSI)

The MPSI is designed to solve “authentic problems”, both theoretical and practical, which do not incorporate data and have various possible solutions –they are open-ended statements–. The main characteristics of this method are (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005):

1. *Qualitative analysis of the problem.* Here, an appropriate theoretical framework should be described, including the concepts and models that are implied, and later the open-problem should be reformulated in operative terms. As such, this is a creative step as different proposals stemming from an original question or statement could be made according to the students’ interests.
2. *Formulation of hypotheses.* The proposition of conjectures which turn into hypotheses has a central role in the MPSI. Therefore, hypotheses will orientate the whole resolution, indicating the parameters and data to keep in mind, and allowing analysis of the results. In this way, testing the hypotheses becomes a tool for conceptual change.
3. *Design of resolution strategies.* It consists of developing one or more strategies to check the validity of the hypotheses and the theoretical framework. For this purpose, independent, dependent and control variables have to be identified, together with the necessary materials and magnitudes to be measured. Finally, a number of decisions have to be made in order to solve the problem.
4. *Resolution of the problem / development of the experiments.* Once the resolution is planned the designs proposed in the stage 3 should be put into practice, taking note of the

observations and measurements carried out, recording the data and verbalizing the entire process.

5. *Analysis of results.* This is the last but not least important step, where results should be analysed with reference to the emitted hypotheses and the initial qualitative analysis. Therefore, this phase goes further than revising the mistakes that have been made, and consists of testing the internal validity of the whole resolution. Furthermore, the obtained results can give rise to new questions and problems.

Because of the newness of a constructivist method like this for most future teachers, we argue for the need to ask preservice teachers to solve sequences of open-ended school problems using the MPSI. In this way, they will take the role of their future secondary school students and reflect on the potentials of the MPSI, the difficulties that arise when implementing the method, or the 'new' role of the teacher (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016). Therefore, this study will focus on the explicit use of the MPSI in an initial physics and chemistry teacher training program, in the Spanish context.

2. Research objectives

The study is guided by the following objectives which cover a double perspective.

1. With regard to the class methodology in the Chemistry Education subject and the curricular contents of the proposed open-ended problems:
 - 1.1 Describe a preservice teacher-training proposal for inclusion of the Methodology of Problem-Solving as an Investigation (MPSI) into the teaching and learning of secondary school chemistry.
 - 1.2 Show that well designed open-ended problems allow for the adequate development of the competencies in the school curricula.
2. With regard to the students' performance in the problem-solving process:
 - 2.1 Analyse how future physics and chemistry teachers solve the open-ended problem "What might happen when a substance is heated up?", in terms of the MPSI dimensions of scientific competencies.
 - 2.2 Look for statistical differences dependent on the future teachers' previous studies.

3. Methods

The case study was done with a class-group made up of 24 students from the «Chemistry Education» subject of the Spanish one-year *Master's in Secondary Education* (MSE) –a necessary requirement for working as a teacher with students age 12-18–. The research was carried out in the Universidad Complutense de Madrid. There were 13 female and 11 male preservice teachers; 10 chemistry graduates, 8 physics graduates and 6 with other degrees, mainly engineering. Physics and chemistry are taught together in secondary education, and this is why people from different backgrounds study the same "physics & chemistry" Master's specialization.

In order to develop the *first objective* of this work, we considered the question that follows as a guide: "How did we work with the MPSI in the Chemistry Education subject?" In addition, we examined the Spanish *physics and chemistry* curriculum for students aged 14-15. This has the purpose of showing the connection between the assessment indicators of the curriculum and the design of the open-ended problem "What might happen when a substance is heated up?"

Concerning the *second objective* of the study, the data was obtained from the individual reports that the future teachers wrote after ending the experiments, in terms of the 5 MPSI stages –they had a week to do so–. In order to facilitate the analysis, the phases 1 and 3 from Figure 1 were divided into the following competence dimensions (CD): *CD1.1*, Qualitative representation of the problem (theoretical framework); *CD1.2*, Reformulation of the problem; *CD3.1*, Variable identification and control; *CD3.2*, Decision-making for the problem.

Then, we established achievement levels for the competence dimensions involved in the MPSI, according to what is expectable for MSE students. The definition of the levels for this problem about heating a substance is shown in the Appendix –for each CD–, but all of them follow the general criteria shown in Table 1. Then, the reports were coded –with the requirement of a consensus of the two researchers–, and the average resolution levels between 0-4 and standard deviations were calculated for each CD, as has been done in other similar studies (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005; Rodríguez-Arteche et al., 2016). Finally, the Mann-Whitney *U* test was carried out in order to look for possible meaningful differences between the results of preservice teachers with different previous studies.

Table 1: Achievement levels for the competence dimensions (stages) of the MPSI

Levels	Criteria
0	Irrelevant / Does not answer
1	Poor. Lacks important information <i>or</i> with important mistakes
2	Average. Lacks some information <i>or</i> with small mistakes
3	Good, even though some information is missing
4	Very good

4. First objective: Our proposal for introducing an inquiry-based method during initial secondary education teacher training

4.1. How did we work with the MPSI in the Chemistry Education subject?

The Chemistry Education subject is based on the resolution of professional problems such as content selection, design and implementation of learning activities and assessment of the teaching and learning process. In this sense, the MPSI was introduced as an inquiry-based methodology in order to face the challenges related to experimental activities.

Before introducing the MPSI, preservice teachers were asked to solve an open-ended problem of low conceptual difficulty –“Which piece of paper absorbs more?” (Rodríguez-Arteche et al., 2016)– without any scaffolding. Their resolutions focused on the solving strategies –with a low achievement level in the control of variables–, and they didn’t qualitatively analyse the problem. Therefore, the professor presented the educational justification of the MPSI, and proposed two teaching units which included sequences of open-ended problems to tackle physical and chemical changes, in accordance with curricular requirements for 14-15 year-old students. In order to favour a reflection about this methodology, preservice teachers were asked to solve these activities by themselves. In this paper, we will look at the problem “What might happen when a substance is heated up?” corresponding to the teaching unit «Change and diversity in nature», which is solved after the complete development of other open-ended problems.

In this way, preservice teachers were asked to carry out the first three stages of the MPSI for the open-ended problem as homework. Later, they did some laboratory experiments working in heterogeneous cooperative groups –containing at least one chemistry graduate and one physics graduate– in a class session of 90 minutes. However, first of all they reached an agreement about the reformulation of the problem and the design of resolution strategies in order to test their hypotheses. The strategies they developed for homework considered the possibilities of solid, liquid and gaseous initial substances. Therefore, once they knew that the initial substance was solid, they revised and finalized their strategies. These procedures focused on identifying the physical and chemical changes which occurred when the proposed solid was heated up.

In this case, a white and crystalline unknown solid “C” was provided, which was KClO_3 . The MSE students had to heat the sample and determine whether changes in states of matter or in the nature of the substance occurred. This activity presents great opportunities from an educational point of view, and allows for looking into the students’ alternative conceptions. As such, initially the substance melts –a reversible change– and later, if heating goes on, a chemical decomposition occurs. This chemical reaction implies the emission of a gas –oxygen, which could be determined in the laboratory–.

All the previous chemical concepts will now be described in relation to the curricular requirements for physical and chemical changes –for students aged 14-15–. At this point, it is convenient to highlight

the importance of making future teachers aware of the potentialities of an inquiry-based method such as the MPSI in order to promote the development of these scientific competencies. Furthermore, we believe that the fact that preservice teachers were able to observe how the professor provided scaffolding to assist them will prompt reflection on their future role in secondary education.

4.2. Connection of the open-ended problem with the school curriculum

Here we will justify the suitability of the problem “What might happen when a substance is heated up?” in order to develop the curricular requirements about physical and chemical changes. In particular, this problem is related to 4 out of the 7 assessment indicators included in the Spanish contents block about «physical and chemical changes», for students aged 14-15. These indicators are shown in Table 2.

Table 2: Assessment indicators of the Spanish curriculum (14-15 year-old students) that are related to the problem “What might happen when a substance is heated up?”

Indicator	Criterion
<i>i</i>	Distinguish between physical and chemical changes, by carrying out simple experiments to test if new substances are formed or not.
<i>ii</i>	Characterize chemical reactions as changes of some substances into others.
<i>iii</i>	Describe the process by which reagents are transformed into products, considering a molecular level of representation.
<i>iv</i>	Deduce the law of conservation of mass and recognize reagents and products by means of laboratory activities.

With regard to the *indicator i*, the design of our problem incorporates two types of changes which are related to the process of heating, a feature we consider as helpful for an appropriate chemistry knowledge construction. At around 350 °C, potassium chlorate –KClO₃– melts, which can be confirmed as a physical change because of the reversibility of the process. As such, by repeatedly heating and cooling this substance, it melts and solidifies.

At higher temperatures, although the sample’s boiling could be expected, after a bubbling and crackling process what remains in the test tube is a solid substance. Moreover, the liquid cannot be recovered in spite of cooling down the sample. How can it be explained? If the latter heating process is carefully observed, the emission of a gas can be detected –at around 400 °C–. For all these reasons, this last change can be confirmed as a chemical reaction of decomposition. Therefore, this inquiry-based activity puts together the two different types of changes, these are, physical and chemical changes.

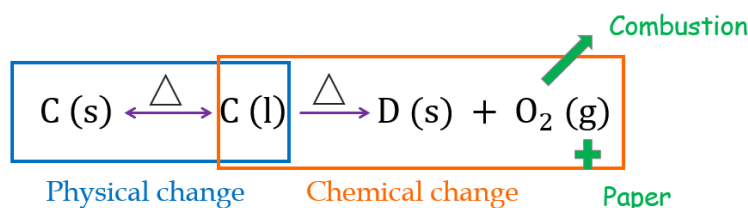


Figure 2: Symbolic representation of the changes that occur throughout the activity (the triangles represent heating processes)

Concerning the assessment *indicator ii*, it should be said that the second of the previous changes involves the change of a substance into others. In this sense, this problem enables the practical determining of the gas which is emitted as oxygen. To do this, the teacher –as part of the scaffolding task– could indirectly suggest introducing a small piece of paper into the test tube when the sample starts to bubble and crackle, for example. In that way, the paper would burn without direct contact with the flame –a combustion reaction–, and this implies the presence of an oxygen-rich atmosphere. All these processes that occur when heating up the sample are summarised in Figure 2.

Finally, with regard to the *indicators iii* and *iv*, our design of scaffolding for the problem promotes microscopic representations of the changes (Bridle & Yeziarski, 2012) once the substances involved have been identified –potassium chlorate, potassium chloride and oxygen–. Our proposal starts from “practical” microscopic situations that can be represented by using Dalton’s model, but all these situations give rise to a unique chemical equation with stoichiometric proportions when considering the law of conservation of mass, as can be seen in Figure 3. Therefore, this is a procedure for balancing chemical equations which focuses on its chemical interpretation, instead of on the algebraic process.

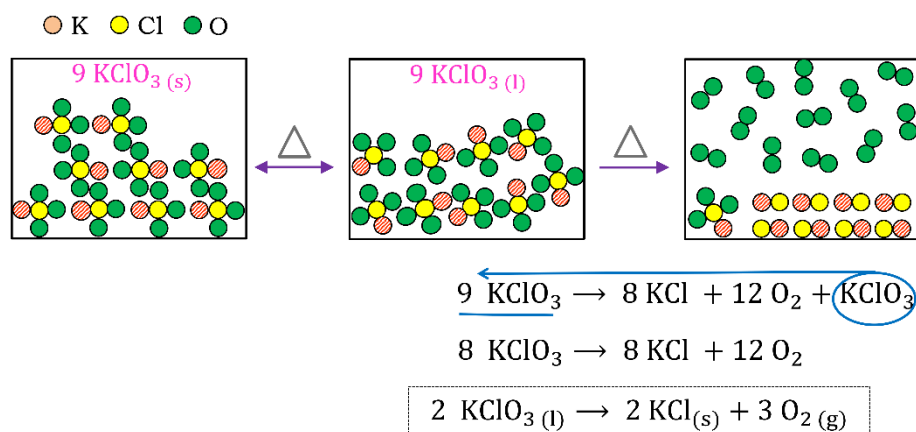


Figure 3: Microscopic and symbolic representations of the changes; obtaining the balanced chemical equation for the thermal decomposition by considering the law of conservation of mass

5. Second objective: Preservice teachers’ performance in the problem-solving process

5.1. Results from the future teachers’ written productions

We analysed how a group of future teachers wrote their reports about the previously described open-ended problem, concerning the heating of a substance. Table 3 shows the frequencies of the achievement levels and their mean values for each competence dimension. In addition, detailed descriptions of these achievement levels are shown in the Appendix, for a better understanding of the results.

Table 3: Frequencies of the achievement levels (between 0 and 4), mean values and standard deviations (SD)

Dimension		Frequencies ($n = 24$)					Scores	
		L0	L1	L2	L3	L4	Mean	SD
CD1.1	Qualitative representation	0	2	8	8	6	2.75	0.92
CD1.2	Reformulation of the problem	0	1	13	3	7	2.67	0.94
CD2	Formulation of hypotheses	0	0	7	3	14	3.29	0.89
CD3.1	Variable identification and control	0	5	11	4	4	2.29	0.98
CD3.2	Decision-making for the problem	0	5	8	7	4	2.42	1.00
CD4	Resolution of the problem	0	3	6	10	5	2.71	0.93
CD5	Analysis of results	0	2	7	8	7	2.83	0.94

The best results correspond to the formulation of hypotheses (CD2, $\bar{x} = 3.29$), which may have happened because the main content of the problem –physical and chemical changes– is fundamental to the university degrees involved. Equally, other research projects with secondary school students have demonstrated that the performance in this procedure strongly depends on the context of the problems, and on the students’ familiarisation with them (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005; Bárcena, 2015).

In contrast, the worst results are for the design of resolution strategies (CD3, $\bar{x} = 2.36$), both in the variable identification and control (CD3.1), and with respect to the decision-making for testing the

hypotheses (CD3.2). These results –similar to the ones found in other studies with IBSE methods (Martínez-Aznar & Varela, 2009; Ferrés, Marbà & Sanmartí, 2015; Rodríguez-Arteche et al., 2016)– might be considered as predictable, taking into account the type of methodologies that the future teachers frequently used in their previous experiences as students. In these cases, the development of “recipe-type activities” prevails over the work about open-ended situations where students have to make their own decisions about the strategies (Dillon, 2008). Moreover, in the field of school chemistry it is quite rare to analyse the variables that take part in the processes, which may increase the difficulty of developing these stages with the MPSI. Instead, the results for the description of the problem resolution (CD4, $\bar{x} = 2.71$) and the final analysis of results (CD5, $\bar{x} = 2.83$) are better, possibly due to the inclusion of these procedures in the usual laboratory activities. In addition, the revision and discussion of the previous open-ended problems solved by the MSE students with the professor may have helped to improve these competence dimensions.

Regarding the initial qualitative analysis of the problem (CD1, $\bar{x} = 2.71$), a significant number of the participants omitted reference to possible types of chemical reaction in the context of the problem when developing their theoretical frameworks (CD1.1). In this way, 75% of the MSE students considered a framework that was limited to the distinction between physical and chemical changes, without explaining particular examples which are relevant to the problem –and without achieving a Level 4–. However, other authors have suggested that one of the most difficult aspects of open-ended problem-solving is to ‘connect’ the variety of intervening contents (Reid & Yang, 2002). Finally, the process of making the problem operative (CD1.2, reformulation), which involves the transition from an open-ended situation to a specific question for investigation, presented a number of difficulties.

5.2. Dependence of the results on the future teachers’ previous studies

The data obtained also allow for enquiry into the relationship between the preservice teachers’ results in problem-solving and their previous university studies. Table 4 shows the mean achievement levels for the MPSI procedures, organised according to the participants’ university degrees. These results appear to be quite similar to each other, although they are a bit better for physicists. However, when carrying out the statistical Mann-Whitney test (U), only one meaningful difference was found, which corresponds to the decision-making (CD3.2). In this case, the physics graduates’ performance is significantly better than that of the chemistry graduates ($U = 17.00$; $p < 0.05$).

Table 4: Mean achievement levels for the MPSI competence dimensions, organised according to the participants’ previous studies; *: statistically meaningful difference ($p < 0.05$)

Competence dimension	Chemistry graduates ($n = 10$)	Physics graduates ($n = 8$)	Others –mainly engineers– ($n = 6$)
CD1.1, Qualitative representation	2.70	3.00	2.50
CD1.2, Reformulation of the problem	2.70	2.63	2.67
CD2, Formulation of hypotheses	3.20	3.63	3.00
CD3.1, Variable identification and control	2.10	2.75	2.00
CD3.2, Decision-making for the problem	2.00*	3.00*	2.33
CD4, Resolution of the problem	2.60	2.75	2.83
CD5, Analysis of results	2.80	2.88	2.83

6. Conclusions and final reflections

From our point of view, any educational change implies the involvement of teachers in their classrooms. As such, the improvement of the quality of chemical education in secondary levels requires the inclusion of IBSE-type methodologies in initial teacher training programs (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016). In order to collaborate on achieving this purpose, we have presented a proposal for the Spanish Master's in Secondary Education which includes the MPSI. In this sense, we have supported the need that future teachers should participate in inquiry-based learning processes, in order to become aware of their benefits for science education –development of scientific competencies, motivation...–. In addition, this fact could help to combat a traditional –and transmissive– school culture.

One of the main contributions of this article –*first objective*– is the description provided about the design of a chemistry open-ended problem through the MPSI. This scheme allows for working on most of the required contents about physical and chemical changes in a single problem, and also promotes a view about the way of working of a scientist. Therefore, this fact rebuts a common teachers' belief which indicates that the work with inquiry-based methods implies a lot of teaching time, making it difficult to complete the school curricula (Colburn, 2000).

The analysis of results for the *second objective* reveals an adequate performance in the scientific competencies involved in the problem-solving process –overall, 53.6% of the responses achieved Levels 3 and 4, 35.7% were classified at Level 2, and 10.7% of the productions obtained Levels 0 and 1–. On the other hand, the order of the scientific procedures from best to worst results was the following one: CD2 ($\bar{x} = 3.29$) > CD5 ($\bar{x} = 2.83$) > CD1 ($\bar{x} = 2.71$) = CD4 ($\bar{x} = 2.71$) > CD3 ($\bar{x} = 2.36$). These data, together with the analysis of the relationship between the participants' university degrees and their problem-solving results, enable reflection on the influence of the classical closed-ended practical activities that are usually developed in physics, chemistry and engineering studies –“recipes”– (Dillon, 2008). As such, the procedures which are less frequently considered have obtained the worst results: the variable identification, the students' decision-making process and the problem reformulation. To overcome these difficulties, we call for the provision of more learning opportunities in order to improve in the competencies that are involved in the resolution of open-ended and ill-structured problems.

Finally, we want to highlight that at present we are carrying out research on future teachers' views about the strengths and weaknesses of the MPSI, once they have completed the Physics & Chemistry Education courses (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, in press). In addition, it is our intention to develop further research with regard to the practical teaching phase of the Master's program. This analysis would help to improve the teacher training programs and support the use of inquiry-based methodologies in secondary school classes.

References

- Bárcena, A.I. (2015). *A study of the influence of Problem-Solving Methodology as an Investigation (PSMI) on learning chemistry in high-school students*. PhD Thesis, Universidad Complutense de Madrid. Retrieved September 1, 2016, from: <http://eprints.ucm.es/30524/1/T36151.pdf> (English summary provided on pages 545-551)
- Bridle, C.A. & Yezierski, E.J. (2012). Evidence for the Effectiveness of Inquiry-Based, Particulate-Level Instruction on Conceptions of the Particulate Nature of Matter. *Journal of Chemical Education*, 89(2), 192-198.
- Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science Scope*, 23(6), 42-44.
- Crawford, B.A. (2007). Learning to teach science as inquiry in the rough and tumble of practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(4), 613-642.
- Crujeiras, B. & Jiménez-Aleixandre, M.P. (2015). Desafíos planteados por las actividades abiertas de indagación en el laboratorio: Articulación de conocimientos teóricos y prácticos en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 63-84. (English summary provided on pages 83-84)
- Dabbagh, N.Dr. & Williams Blijd, C. (2010). Students' perception of their learning experiences in an authentic instructional design context. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 4(1), 6-29.

- Dillon, J. (2008). *A review of the Research on Practical Work in School Science*. London: King's College. Retrieved September 1, 2016, from: http://www.score-education.org/media/3671/review_of_research.pdf
- Etherington, M.B. (2011). Investigative primary science: a Problem-Based Learning approach. *Australian Journal of Teacher Education*, 36(9), 53-74.
- European Commission (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Brussels. Retrieved September 1, 2016, from: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf
- Ferrés, C., Marbà, A. & Sanmartí, N. (2015). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 22-37. (Abstract in English is included)
- Hmelo-Silver, C., Golan, R. & Chinn C.A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning. A response to Kirschner, Sweller and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107.
- Ibáñez, M.T. & Martínez-Aznar, M.M. (2007). Solving problems in genetics (III): Change in the view of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 29(6), 747-769.
- Martínez-Aznar, M.M. & Ibáñez, M.T. (2005). Solving problems in genetics. *International Journal of Science Education*, 27(1), 101-121.
- Martínez-Aznar, M.M. & Varela, M.P. (2009). La resolución de problemas de energía en la formación inicial de maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(3), 343-360. (English summary provided on page 359)
- Martínez-Aznar, M.M. & Bárcena, A.I. (2013). ¿Es beneficioso masticar bien para realizar una buena digestión? Una actividad de indagación en un aula de diversificación. *Educació Química, EduQ*, 14, 19-28. (Abstract in English is included)
- Minner, D.D., Levy, A.J. & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction. What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496.
- OECD. (2006). *Evolution of student interest in Science and Technology studies*. Retrieved September 1, 2016, from: <http://www.oecd.org/science/sci-tech/36645825.pdf>
- OECD. (2013). *PISA 2015 Draft Science Framework*. Retrieved September 1, 2016, from: <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/pisa2015draftframeworks.htm>
- Pavón, F. & Martínez-Aznar, M.M. (2014). La metodología de resolución de problemas como investigación (MRPI): una propuesta indagativa para desarrollar la competencia científica en alumnos que cursan un programa de diversificación. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 469-492. (English summary provided on pages 491-492)
- Reid, N. & Yang, M-J. (2002). Open-ended problem solving in school chemistry: A preliminary investigation. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1313-1332.
- Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (2016). Introducing inquiry-based methodologies during initial secondary education teacher training using an open-ended problem about chemical change. *Journal of Chemical Education*, 93(9), 1528-1535.
- Rodríguez-Arteche, I., Martínez-Aznar, M.M. & Garitagoitia-Cid, A. (2016). La competencia sobre planificación de investigaciones en 4º de ESO: un estudio de caso. *Revista Complutense de Educación*, 27(1), 329-351. (Abstract in English is included)
- Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (in press). Indagación y modelos didácticos: La reflexión de cuatro profesores de física y química en formación inicial. *Campo Abierto*. (Abstract in English is included)
- Savery, J.R. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1), 9-20.

APPENDIX

The following Tables A.1–A.7 show the precise definition of the achievement levels for each competence dimension (CD), corresponding to the problem “What might happen when a substance is heated up?” These levels were defined between 0 (irrelevant response, or students do not answer) and 4 (very good answer), as has been described in the «Methods» section. For this analysis, a consensus between the researchers was required.

Table A.1: Achievement levels for the “qualitative representation of the problem – theoretical framework (CD1.1)”

Level	Description
1	a) Explaining basic concepts like substance (elements/compounds) or heat, but this stage is not focused on the intervening physical and chemical changes. b) They make important mistakes when explaining concepts like chemical reaction or heat & temperature.
2	In addition to the concepts involved in <i>Level 1</i> , they briefly introduce the idea of physical and chemical changes, although this is done in generic terms.
3	a) Properly explaining the chemical concepts involved in the problem (<i>see Level 4 *</i>); however, the possibilities of physical and chemical changes that could happen in this problem are not fully developed. b) Providing explanations of the concepts that are relevant to the problem (*), but in a disorganised way.
4	Adequate explanations of the intervening concepts (*): substance (elements/compounds), states of matter, physical and chemical changes (describing possibilities in the context of the activity), heat and temperature.

Table A.2: Achievement levels for the “reformulation of the problem (CD1.2)”

Level	Description
1	A mere change of some words in the initial question; the statement is not yet operative.
2	Using operative terms to change the initial statement; however, the reformulation does not allow for completing an investigation about heating a substance (<i>e.g.</i> , they just consider the possibility of an <i>only</i> change in state / chemical reaction).
3	Using operative terms to restate the problem and complete an investigation into it; nevertheless, there are some mistakes in this formulation.
4	Appropriate reformulation: the research will consist of analysing both the physical (reversible) and chemical (irreversible) changes which occur when heating a substance.

Table A.3: Achievement levels for the “formulation of hypotheses (CD2)”

Level	Description
1	The hypotheses do not match the objectives of the problem.
2	a) The hypotheses just focus on changes in state / chemical reactions starting from the substance in the solid state (<i>i.e.</i> , a complete heating process is not considered). b) The hypotheses anticipate some aspects that arise during the problem-solving.
3	Writing coherent statements with the problem, but not expressed in terms of testable hypotheses.
4	The hypotheses are coherent with the problem and properly written.

Table A.4: Achievement levels for the “variable identification and control (CD3.1)”

Level	Description
1	The identification is incoherent with the problem’s objectives, or the variables are not assigned as independent, dependent and control ones (although they might be considered in the later research planning).
2	Correct identification of the <i>dependent variable</i> (type of change, physical or chemical), in agreement with their hypotheses.
3	Adequate identification of both <i>dependent</i> and <i>independent</i> (temperature) variables, although in an imprecise way (<i>e.g.</i> , they consider a dependence of the results on the particular substance chosen and the possibility of changing the temperature, but the latter is not explicitly identified as the independent variable).
4	Correct identification of both dependent and independent variables. Moreover, they include properly some <i>control variables</i> (<i>e.g.</i> , pressure).

Table A.5: Achievement levels for the “decision-making for the problem (CD3.2)”

Level	Description
1	The resolution criteria are not well specified. The decision-making simply focuses on how to heat the substance in the laboratory.
2	<i>a)</i> They focus on how the substance is heated, and include only a single criterion to classify the changes (reversibility / emission of gases / change in colour or appearance). <i>b)</i> A <i>part</i> of the decision-making is incorrect, and may imply some difficulties for the practical resolution of the problem.
3	The strategies include a complete explanation about (ir)reversibility as an indicator of (chemical)/physical change. Furthermore, they properly describe <i>one</i> of the following two observations to make in the investigation: 1) emission of gases as a sign of chemical change, 2) change in characteristic properties or in colour/odour/appearance as chemical change indicators.
4	Appropriate explanations of all the contents that appeared in <i>Level 3</i> . They can also describe different criteria regarding the states of matter of the substance(s) involved.

Table A.6: Achievement levels for the “resolution of the problem (CD4)”

Level	Description
1	<i>a)</i> Wrong resolution of the problem (<i>e.g.</i> , they mix up the decomposition reaction with a combustion reaction –both of them are involved in the open-ended problem–). <i>b)</i> The problem-solving steps described are clearly insufficient (<i>e.g.</i> , they just focus on the initial –physical change– or final –chemical change– part of the heating process).
2	Adequate but incomplete description of the resolution. <i>One</i> of the three key ideas shown in Figure 2 is missing: physical change / chemical change / combustion reaction. In several cases, they make some mistakes in their descriptions (<i>e.g.</i> , they don’t realise that after decomposition, potassium chloride –a product– is in solid-state and not in liquid-state).
3	The description made is correct, although there is a lack of supporting evidence (pictures, explanations...) for <i>one</i> of the previous basic aspects of the problem. For example, they don’t include a proof in terms of reversibility for the initial physical change.
4	Appropriate explanations of the resolution processes, taking into account the three basic ideas described for <i>Level 2</i> and providing complete experimental evidence.

Table A.7: Achievement levels for the “analysis of results (CD5)”

Level	Description
1	<p>a) Incorrect analysis: there are several important mistakes in the explanations.</p> <p>b) Incomplete final analysis of results. In addition, they don't make any reference to their hypotheses based on practical criteria.</p>
2	<p>a) They explain whether their hypotheses have been tested or not. Nevertheless, they don't specify in this section which are the basic experimental criteria that allow for testing the hypotheses.</p> <p>b) The analysis is adequate but incomplete. For example, they describe the occurring change on a microscopic and symbolic level (chemical equation), but they don't make reference to their hypotheses and experimental observations.</p>
3	<p>Their analysis is good, although either the microscopic and symbolic representations <i>or</i> the experimental evidence to support their explanations are missing (the latter could have been explained in the resolution stage).</p>
4	<p>Complete analysis of results. The aspects that were missing in the <i>Level 3</i>–responses are properly explained.</p>

Artículo 4

La competencia sobre planificación de investigaciones en 4º de ESO: un estudio de caso

La competencia sobre planificación de investigaciones en 4º de ESO: un estudio de caso

Competence in research planning in the fourth level of Spanish Secondary Education: a case study

Iñigo RODRÍGUEZ ARTECHE¹, M^a Mercedes MARTÍNEZ AZNAR¹
y M^a Aránzazu GARITAGOITIA CID²

¹Universidad Complutense de Madrid y

²Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems IKTS (Alemania)

Recibido: Septiembre 2014

Evaluado: Diciembre 2014

Aceptado: Enero 2015

Resumen

En los últimos años, las metodologías de tipo “Inquiry-Based Science Education” (IBSE) se vienen recomendando desde las instancias europeas para mejorar los niveles de competencia y las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes. Así, el presente estudio pretende comprobar la eficacia de una metodología IBSE, la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI), para la enseñanza-aprendizaje de la competencia sobre planificación de investigaciones en 4º de ESO. Para ello, a partir de las resoluciones de problemas abiertos de los estudiantes, se analiza el progreso en el aprendizaje de las dimensiones competenciales relativas a la planificación de investigaciones y la influencia de la metodología propuesta en su adquisición. Los resultados indican un dominio de mayor a menor grado en la emisión de hipótesis, diseño de la experimentación, representación cualitativa, identificación de variables y reformulación del problema abierto, así como la influencia positiva de la MRPI en estas dimensiones competenciales sobre la planificación de investigaciones.

Palabras clave: planificación de investigaciones, competencia científica, metodología investigativa, enseñanza secundaria.

Abstract

In the last years, “Inquiry-Based Science Education” methodologies (IBSE) are being recommended by European institutions in order to improve the competence levels and the attitudes towards science of primary and secondary school students. Therefore, the aim of this study is to test the effectiveness of an IBSE methodology, the Methodology of Problem Solving as an Investigation (MPSI), for the teaching-learning process of planning of experiments in the fourth level of Spanish Secondary Education. By means of the students’ solutions for a series of open problems, the progress in the learning of the competences related to the planning of experiments has been analyzed, along with the influence of the methodology on the development of these competencies. The results show a students’ command from higher to lower levels on: emission of hypothesis, design of the experiment, qualitative analysis,

identification of variables and reformulation of the open problem. Furthermore, the Methodology has contributed to an improvement of the scientific competence in the area of planning experiments.

Keywords: planning of experiments, scientific competence, inquiry-based methodology, secondary education.

Desde finales del siglo pasado, los currículos escolares vienen incluyendo la *indagación* como método de enseñanza y aprendizaje, con la finalidad de alcanzar la formación científica y ciudadana de los estudiantes (Abd-El-Khalick *et al.*, 2004). Así, en la LOE (2006) la indagación se introduce para la adquisición de la competencia científica.

Igualmente, desde las instancias europeas (Comisión Europea, 2007) se sugiere la utilización de metodologías activas donde el alumnado se enfrenta a un reto, no abordable a través de las explicaciones o lecturas de libros de texto, que requiere de la construcción de conocimiento para su resolución. Estas metodologías difieren en la naturaleza, alcance del reto y grado de guía aportado por el profesor para superarlo (Prince y Felder, 2007). Enfoques de esta naturaleza son el aprendizaje por descubrimiento, la resolución de problemas, los proyectos, el estudio de casos, etc., denominados genéricamente *Inquiry-Based Science Education* (IBSE).

Por definición, la indagación (*inquiry*) es un proceso intencional de diagnóstico de problemas, crítica de experimentos y diferenciación de alternativas, planificación de investigaciones, comprobación de conjeturas, búsqueda de información, construcción de modelos, debate con los compañeros y formación de argumentos coherentes (Linn, Davis y Bell, 2004).

En esta línea, el aprendizaje basado en problemas (“Problem-Based Learning”, PBL) describe un entorno donde los problemas, entendidos como desafíos para los que no hay caminos evidentes, dirigen el aprendizaje. Por ello, los estudiantes deben examinar información, identificar posibles soluciones, evaluarlas y presentar conclusiones.

En este estudio, se analiza el desarrollo de competencias científicas de los estudiantes mediante actividades de indagación, en concreto para la planificación de investigaciones. Además de la originalidad en el planteamiento de las actividades de laboratorio, se presentan materiales para que los docentes puedan innovar en las aulas.

Marco teórico

Desde hace más de 20 años, en el Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la UCM se han hecho aportaciones sobre los beneficios para el aprendizaje de las ciencias de la *Metodología de Resolución de Problemas como Investigación* (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983), un ejemplo de “*Inquiry-Based Science Education*”. En el ámbito de la educación secundaria, se han realizado contribuciones para las materias de Física (Varela y Martínez, 1997), Química

(Bárcena, 2015), Biología (Martínez e Ibáñez, 2005; Ibáñez y Martínez, 2007), y el Ámbito Científico-Tecnológico de Diversificación (Martínez y Bárcena, 2013; Pavón y Martínez, 2014). También para educación primaria (Martínez, 2009) y en la formación inicial de maestros (Martínez y Varela, 2009). En todos estos trabajos los resultados han sido muy satisfactorios, tanto en el cambio conceptual y de los procedimientos de los estudiantes como en sus actitudes hacia la ciencia y su aprendizaje (Ibáñez y Martínez, 2007), en consonancia con las propuestas de las instituciones comunitarias para promover la educación científica: “*Una reorientación de la pedagogía de la enseñanza de las ciencias en las escuelas, introduciendo los métodos basados en la investigación [IBSE], permitiría aumentar el interés de los estudiantes por las ciencias*” (Comisión Europea, 2007, pág. 2).

La MRPI, ejemplo de IBSE, es un heurístico con 5 fases diseñado para resolver problemas verdaderos, de “lápiz y papel” y “experimentales”, con enunciados abiertos (sin datos y con soluciones variadas) y siguiendo la metáfora del investigador novel en los equipos de investigación. Sus principales características son (Martínez e Ibáñez, 2005):

1. *Análisis cualitativo del problema.* Supone la revisión del marco teórico de referencia, las posibles concepciones alternativas y la reflexión sobre lo requerido para su resolución. El problema se acota y reformula en términos operativos, y se indican las restricciones para hacer viable la resolución.

2. *Emisión de hipótesis.* A partir del análisis previo, se realizan conjeturas que orientan la resolución y posibilitan su posterior análisis, en base a las variables que pueden ser influyentes.

3. *Diseño de estrategias de resolución.* La planificación de estrategias persigue comprobar la validez de las hipótesis. Así, primero hay que identificar las variables (independientes, dependientes y de control), determinar las magnitudes a medir y los materiales a considerar. Finalmente, se toman las decisiones oportunas para resolver el problema. La planificación de las estrategias impide un tratamiento del tipo ensayo/error, aunque esta fase debe afrontarse de forma flexible. Además, planificar varias estrategias es muy útil para mostrar la coherencia interna de la resolución.

4. *Resolución del problema.* Consiste en poner en práctica los diseños realizados en la fase 3, tomar nota de las observaciones y medidas efectuadas y registrar los datos.

5. *Análisis de resultados.* Implica la búsqueda de regularidades en los datos, que se analizan a la luz de las hipótesis y el marco teórico descritos. Esta es una etapa esencial del proceso, mucho más allá de la revisión de errores en la resolución, y que como en la propia investigación científica puede conducir a nuevos problemas e interrogantes.

Estas etapas constituyen una secuencia orientadora de la resolución, que pueden replantearse y nunca entenderse como de seguimiento consecutivo y rígido. Además, para problemas abiertos de tipo experimental permiten abordar tanto la planificación de las investigaciones como su desarrollo completo, ajustándose a las necesidades e intereses de alumnos y profesores.

Durante el proceso de resolución de problemas abiertos se debe fomentar la verbalización como aspecto fundamental del desarrollo de la metacognición, la creatividad y la originalidad, favoreciéndose uno de los objetivos educativos y competencia básica más deseables, el *aprender a aprender* (Garrett, 1988).

Para terminar, cabe destacar que las fases de esta metodología recogen expresamente las dimensiones de la competencia en conocimiento e interacción con el mundo físico (*competencia científica*) de la LOE, que de acuerdo con los procesos y actitudes propiamente científicos supone: “*identificar y plantear problemas relevantes; realizar observaciones [...] con conciencia del marco teórico que las dirige; formular preguntas; localizar, obtener, analizar y representar información cualitativa y cuantitativa; plantear y contrastar soluciones tentativas o hipótesis [...]; obtener, evaluar y comunicar conclusiones...*” (MEC, 2007, pág. 687).

Objetivos

Con la intención de vincular la investigación con la innovación educativa, este estudio tiene la finalidad de comprobar la eficacia de la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI) para el desarrollo de la competencia científica en 4º de ESO en relación con la *planificación de investigaciones*. Por ello, se buscan respuestas a las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Progresarán los estudiantes de 4º de ESO en el aprendizaje de los procedimientos incluidos en la MRPI sobre la planificación de investigaciones?
- ¿La introducción de la MRPI favorecerá el desarrollo, por parte de los estudiantes, de la planificación de investigaciones hacia niveles de competencia científica más complejos?

Metodología

El estudio realizado se enmarca en el contexto de las investigaciones educativas de carácter descriptivo y cualitativo, ya que estudia una realidad con la intención de interpretarla según las necesidades y objetivos planteados (Rodríguez, Gil y García, 1999). Además, dado que “*las investigaciones cualitativas están sujetas a las circunstancias de cada ambiente o escenario particular*” (Hernández, Fernández y Baptista, 2006, pág. 686), se plantea como estudio de caso.

Contexto y muestra de estudio

La muestra, de tipo incidental, está formada por 19 estudiantes (15,8 años de media, 10 mujeres y 9 hombres, 10 extranjeros y 9 españoles; 3 repetidores) de 4º de ESO del IES Cardenal Cisneros de la ciudad de Madrid, que cursan la asignatura optativa de Ampliación de Física y Química. Son aquéllos del total de 22 que asisten a todas las sesiones en que se realiza el estudio.

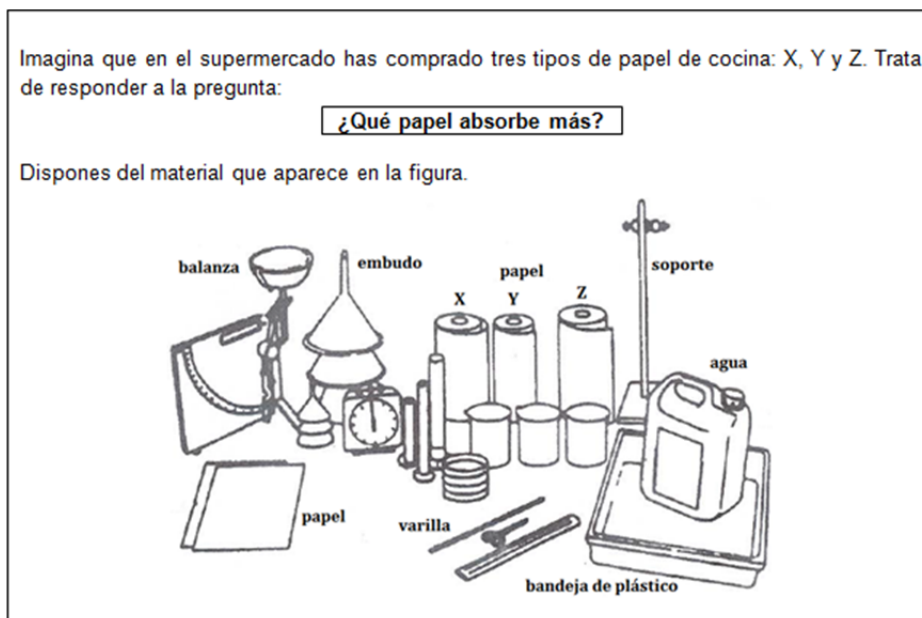
Esta asignatura incide en la importancia del trabajo experimental para el desarrollo de la competencia científica. Es por ello que se introdujo la MRPI, por su coherencia con los procedimientos habituales en la ciencia y su pertinencia para alcanzar los objetivos del currículo, frente a otras metodologías más guiadas.

Metodología de aula

En este apartado se presentan los problemas abiertos seleccionados y la secuencia del trabajo realizado. En estas sesiones, el *rol del docente*, que cuenta con una formación previa en la MRPI, será de orientador y guía para el proceso de construcción del conocimiento de los escolares.

a) Situaciones problemáticas abiertas

1. “¿Qué papel absorbe más?” Sirve para analizar el modo en que los estudiantes planifican una investigación antes de introducirse la MRPI y para ejemplificar las fases de la propia metodología. Cabe destacar que el problema tiene escasa complejidad conceptual para 4º de ESO, y por ello permite hacer hincapié en los aspectos metodológicos y competenciales (Martínez, 2009). En el Cuadro 1 se muestra el protocolo presentado a los estudiantes.



Cuadro1. Protocolo para “¿Qué papel absorbe más?”, elaborado a partir del Proyecto APU (1987).

2. “¿Qué detergente lava mejor?” Es un problema de investigación completa que requiere su *planificación* (fases 1 a 3 de la MRPI, objeto de este trabajo) e

implementación en el laboratorio (fases 4 y 5). Esta situación problemática, diseñada al efecto, es la primera en que los estudiantes utilizan la MRPI siguiendo una *plantilla* que recoge sus fases (Martínez, 2009).

3. “¿Qué tejido abriga más?” Permite analizar el modo en que los estudiantes planifican una investigación tras haber trabajado con la MRPI, y compararlo con la forma en que lo hacían previamente (para lo que se utiliza el Problema 1, P1). En este sentido, la complejidad de esta resolución es muy superior a la del P1 (APU 1987, pág. 50). En el Cuadro 2 aparece como se presenta a los estudiantes.

Imagina que vas a emprender una expedición a la alta montaña, donde vas a padecer un clima frío, seco y ventoso. Para abrigarte, puedes escoger un abrigo hecho de uno de los tejidos mostrados en la imagen: tejido plástico o de lana. Debes responder a la siguiente pregunta:

¿Qué tejido abriga más?

Dispones del material que aparece en la figura: utiliza lo que te parezca para responder la pregunta. Podrías utilizar:

- Una lata podría simular a una persona.
- Poniendo agua dentro, la simulación de una persona sería más realista.
- Podrías imitar el viento con el secador de pelo (con el calentador apagado).

Cuadro 2. Protocolo para “¿Qué tejido abriga más?”, a partir del Proyecto APU (1987).

Las tres situaciones problemáticas están dentro de un enfoque CTSA. Se pretende que además de construir conocimientos académicos, los estudiantes tomen decisiones sobre contextos cotidianos de forma más crítica y reflexiva, mejorando así su interés por el aprendizaje (Fortus *et al.*, 2005; Blanco, España y Rodríguez, 2012; Caamaño, 2012).

b) Secuencia del trabajo

El estudio se ha realizado en 6 sesiones (4 de 50 minutos y la mitad de otras 2) de la asignatura Ampliación de Física y Química.

Sesión 1: (30 min.)

– Resolución individual, previa a la introducción de la MRPI, de “¿Qué papel absorbe más?” (Problema 1).

Sesión 2: (50 min.)

– Presentación de la MRPI: se reparte y explica la *plantilla* (Martínez, 2009) con las 5 fases de la metodología. Para ejemplificar el modelo y mostrar sus ventajas en la resolución de problemas abiertos, se utiliza el Problema 1.

– Planificación de la actividad “¿Qué detergente lava mejor?” (Problema 2). La mitad del grupo realizará la experimentación, en equipos de investigación, en la Sesión 3, y el resto en la Sesión 4 (según el orden de lista). Los estudiantes deben realizar individualmente las 3 primeras fases de la MRPI antes de la sesión experimental, y traer detergentes utilizados en sus casas.

Sesiones 3 y 4 – laboratorio: (50 min.)

– Una sesión para cada medio grupo, en equipos, para resolver el Problema 2.

– Cada estudiante dispondrá de un plazo de una semana para redactar su informe, siguiendo las pautas de la MRPI.

Sesión 5: (30 min.)

– Puesta en común para verbalizar las ideas incluidas en los informes sobre el Problema 2.

Sesión 6: (50 min.)

– Desarrollo individual de las 3 primeras fases de la MRPI para “¿Qué tejido abriga más?”, y redacción del informe correspondiente.

Instrumentos, técnicas de recogida y análisis de datos

Para estudiar el grado de éxito de los escolares en el aprendizaje de las dimensiones competenciales en *planificación de investigaciones*, a partir de sus informes, se consideran las 3 primeras fases de la MRPI: 1) análisis cualitativo; 2) emisión de hipótesis; 3) diseño de estrategias de resolución. Dado que estas etapas abarcan un conjunto amplio de capacidades, se subdividen según aparece en el Cuadro 3.

DC1. Análisis cualitativo del problema.	DC1.1. Representación cualitativa de la situación problemática.
DC2. Emisión de hipótesis.	DC1.2. Reformulación del problema abierto.
DC3. Diseño de estrategias de resolución.	DC3.1. Identificación y control de variables.
	DC3.2. Diseño de la experimentación.

Cuadro 3. Dimensiones competenciales (DC) consideradas en el estudio (en negrita).

Para analizar las producciones escritas de los estudiantes, primero se resuelven las situaciones problemáticas según lo que cabe esperar como resolución satisfactoria para

4º de ESO en cada problema (el Anexo 1 incluye un modelo de resolución para el Problema 3). Luego, se definen unos niveles de resolución que hacen referencia a la adquisición de las dimensiones competenciales (DC), desde niveles 1, como aportaciones irrelevantes, hasta niveles 4, como aportaciones muy satisfactorias (el Anexo 2 recoge los correspondientes al Problema 3). Para este análisis y la posterior codificación de los informes, se ha requerido el consenso del profesor de aula, otro profesor de física y química y un experto.

Además, para tener una visión más global de lo sucedido y conocer el éxito (en términos comparativos) de los estudiantes en las DC sobre la *planificación de investigaciones*, se consideran dos indicadores de logro ya utilizados en investigaciones semejantes (Martínez y Varela, 2009). El indicador de logro 1 (IL1) se calcula tomando en cada DC dos categorías de respuesta: la correspondiente a los niveles 1 y 2 (aportaciones inadecuadas), y la correspondiente a los niveles 3 y 4. Así, la diferencia entre el número de estudiantes en los niveles superiores y en los inferiores, normalizada entre el número de escolares de la muestra (19), permite comparar el éxito logrado en cada DC. Este indicador IL1 recae en el rango entre -1 y +1. Por otra parte, como indicador de logro 2 (IL2) se considera el nivel medio alcanzado por los estudiantes, con rango 1-4. Con esta información, se procede a categorizar las producciones de los escolares, y a realizar el análisis descriptivo de las mismas.

Finalmente, para dar respuesta a la 2ª pregunta de investigación y apreciar la evolución en las dimensiones competenciales, se construyen diagramas cualitativos de tipo Bliss que permiten percibir de forma intuitiva la evolución de los estudiantes (Osborne *et al.*, 1990; Pavón y Martínez, 2014).

Resultados y Análisis

Para cada pregunta de investigación se presenta el correspondiente análisis descriptivo, con ejemplos de las producciones de los estudiantes.

a) Primera pregunta de investigación

Para responder esta pregunta, acerca del aprendizaje de los procedimientos de la MRPI sobre la planificación de investigaciones (fases 1-3), se utilizan las producciones de los estudiantes para los problemas abiertos: 2. “¿Qué detergente lava mejor?” y 3. “¿Qué tejido abriga más?”, resueltos ambos mediante esta metodología.

A partir de los informes de los 19 estudiantes, se identifican los niveles para las dimensiones competenciales (DC) en ambos problemas (ver ejemplo en Anexo 2), y se obtienen las frecuencias y los indicadores de logro mostrados en la Tabla 1.

Dimensión	Frecuencias de los niveles (N=19)								Indicadores de logro*			
	2. ¿Qué detergente lava mejor?				3. ¿Qué tejido abriga más?				2. ¿Qué detergente lava mejor?		3. ¿Qué tejido abriga más?	
	N1	N2	N3	N4	N1	N2	N3	N4	IL1	IL2	IL1	IL2
DC1.1 – Repres. cualitativa	5	4	5	5	1	6	7	5	+0,05	2,53	+0,26	2,84
DC1.2 – Reformulación	4	5	5	5	4	5	4	6	+0,05	2,58	+0,05	2,63
DC2 – Emisión de hipótesis	4	3	4	8	0	6	2	11	+0,26	2,84	+0,37	3,26
DC3.1 – Identif. de variables	2	6	6	5	0	9	3	7	+0,16	2,74	<u>+0,05</u>	2,89
DC3.2 – Diseño experimentación	1	5	5	8	1	4	7	7	+0,37	3,05	+0,47	3,05

Tabla 1. Indicadores de logro para los problemas abiertos.

*En **negrita** están los indicadores donde hay mejoría al resolver el segundo problema abierto, y en subrayado donde se obtiene un resultado peor.

Se destaca que en todos los casos hay más estudiantes en los niveles 3 y 4 que en los inferiores (valores de IL1 positivos), lo que supone el progreso de los escolares en las capacidades de la MRPI sobre la planificación de investigaciones; así:

- La *reformulación del problema* (DC1.2) es el procedimiento que obtiene peores resultados, aunque hay más estudiantes en los niveles superiores 3 y 4 que en los inferiores. Ello puede deberse a la dificultad de verbalizar en términos operativos los enunciados abiertos.
- Para la *identificación y control de variables* (DC3.1), en el segundo problema abierto el nivel medio alcanzado por el alumnado es mayor que en el primero, pero la diferencia entre los estudiantes en los niveles superiores e inferiores es menor. Esto pone de relieve la complejidad de explicitar las variables, como también se desprende de otros estudios con metodologías indagativas (Martínez y Varela, 2009; Ferrés, Marbà y Sanmartí, 2015).
- La mayor evolución se produce en la *representación cualitativa de la situación* (DC1.1) y en la *emisión de hipótesis* (DC2). El avance en DC1.1, también detectado en investigaciones semejantes (Bárcena, 2015), es muy importante y revela que los estudiantes son conscientes de la situación planteada, del objetivo a conseguir y del conocimiento necesario para afrontarlo (Greeno, 1998). En cuanto a la emisión de hipótesis, que parte de resultados satisfactorios desde un comienzo, su evolución es igualmente destacable. Este resultado está en la línea del de otros autores que exponen que la familiaridad del contexto de los problemas facilita la emisión de hipótesis (Martínez e Ibáñez, 2005; Blanco, España y Rodríguez, 2012), y que para contextos más disciplinares resulta más compleja (Varela y Martínez, 1997).

- Finalmente, en el *diseño de la experimentación* (DC3.2) se logran resultados muy satisfactorios, y en el segundo problema un 74% de los estudiantes se encuentra en los niveles 3 y 4.

Para completar este análisis, se muestran ejemplos de producciones de los estudiantes para algunas de las fases de la MRPI.

Las Tablas 2 y 3 presentan ejemplos extraídos de los informes para la DC1.2, *reformulación*, y DC3.1, *identificación y control de variables*, para los niveles de resolución definidos, junto con el porcentaje de estudiantes incluido en los mismos. Asimismo, el Cuadro 4 presenta el informe del alumno A10 para la DC1.1, *representación cualitativa*.

Nivel	Ejemplo
2	«Comparar qué tejido protegerá mejor del frío». (A4). [Representativo de 26%.]
3	«Ver qué tejido mantiene más caliente algo situado en su interior». (A10). [Representativo de 21%.]
4	«Durante un tiempo determinado, comprobar cuál de los dos materiales (plástico y lana) es más eficaz previniendo la pérdida de calor o el enfriamiento del contenido o persona». (A12). [Representativo de 32%.]

Tabla 2. Ejemplos de respuestas del alumnado (A) para DC1.2, *Reformulación*, para “¿Qué tejido abriga más?”

Nivel	Ejemplo
2	«Variable independiente: la mancha; Variable dependiente: cantidad de detergente, dimensiones de la tela y cantidad de agua ¹ ». (A9). [Representativo de 32%.]
3	«Tomamos como variables de control las siguientes: cantidad de detergente, volumen de agua, cantidad de sustancia utilizada para crear las manchas y tiempo que cada mancha esté sumergida en la disolución de detergente ² ». (A2). [Representativo de 32%.]
4	«Variable independiente: el tipo de detergente; Variable dependiente: lo marcada que está la mancha, es decir, que se haya retirado en mayor o menor medida; Variables de control: la sustancia con la que se manchará la tela, la cantidad de detergente, los tiempos de lavado». (A10). [Representativo de 26%.]

Tabla 3. Ejemplos de respuestas del alumnado (A) para DC3.1, *Identificación y control de variables*, para “¿Qué detergente lava mejor?”

¹Parece querer indicarse qué ha de permanecer sin cambios (serían variables de control).

²Se omite una identificación explícita de las variables dependiente e independiente.

REPRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

1. ANÁLISIS CUALITATIVO DEL PROBLEMA

Comprender y representación del problema.

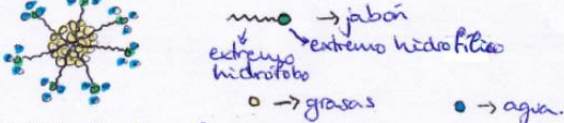
- **DETERGENTE:** Sustancia tensioactiva y anfipática que tiene la propiedad química de disolver la suciedad o las impurezas de un objeto sin corroerlo. La mayoría son compuestos de sodio de sulfonato de benceno sustituido.

Un detergente a de:

- ser soluble en agua
- tener afinidad por las grasas
- no afectar a los tejidos
- no ser tóxico ni alergénico
- tener capacidad para eliminar las manchas.
- no tener olor desagradable.

• **TENSIÓACTIVO:** Sustancia que influye por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases. En tecnología doméstica son sustancias que permiten mantener una emulsión. Facilitan la tarea del agua al conseguir que este moje mejor los tejidos. Separa la suciedad de los tejidos e impide que esta se deposite de nuevo.

• **MOLECULA ANFIPÁTICA:** Aquella que posee un extremo hidrofílico, que es soluble en agua, y otro hidrofobo, que rechaza el agua. Estas dos partes tenderían a separarse si se agregan a una mezcla de dos sustancias.



• **LIMPIAR:** Quitar la suciedad.

Cuadro 4. Producción de Nivel 4 para DC1.1, *Representación cualitativa*, para “¿Qué detergente lava mejor?”, realizada por A10.

Al ser la *identificación y control de variables* (DC3.1) y el *diseño de la experimentación* (DC3.2) competencias de gran importancia en la planificación de investigaciones, se realiza un análisis más pormenorizado de las mismas.

Para DC3.1 se profundiza en las *variables de control* (VC), aspecto sobre el que pretende incidir la MRPI; en la Tabla 4 se presenta su identificación para el problema “¿Qué tejido abriga más?” Los resultados para “¿Qué detergente lava mejor?” son similares.

VC*	Estudiantes																			Expl.*		Ident.*	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	N	%	N	%
<i>Cantidad agua en las latas</i>	Y	x		x	x	Y	Y		x	Y	Y	x	Y	Y	x	x	Y			8	42	15	79
<i>Tiempo de enfriar</i>	Y	x	x	Y	Y	x	x		x	Y	Y	Y	Y	Y	Y	x	x	Y	x	10	53	18	95
<i>Superficie tejidos</i>	x	Y		x		x	x			Y	Y	x	Y	Y	Y	x	x	Y		7	37	14	74
<i>Tipo de lata</i>		Y	x	x			Y			x	x					x				2	11	7	37
<i>Temperat. inicial del agua</i>	x	x	x	x	Y	Y			Y	Y	Y	x	Y	Y	x	x	Y	Y		9	47	16	84

Tabla 4. Análisis de las variables de control (VC) para “¿Qué tejido abriga más?”

* Y: VC identificadas explícitamente; x: VC señaladas implícitamente en el diseño experimental.

* ‘Expl.’: estudiantes (N y %) que identifican cada VC explícitamente; ‘Ident.’: los que las señalan ya sea explícita o implícitamente.

La Tabla 4 nos indica que un porcentaje superior al 75% de los estudiantes identifica al menos implícitamente la mayor parte de las variables de control. No obstante, sería deseable una mejoría en relación con su verbalización explícita. Estos resultados están en línea con los de otras investigaciones utilizando metodologías indagativas (Martínez y Varela, 2009; Ferrés, Marbà y Sanmartí, 2015).

En cuanto a la DC3.2, *diseño de la experimentación*, aquí es donde hay más estudiantes en los niveles 3 y 4, lo que puede deberse a que el alumnado esté más familiarizado con la propia resolución de los problemas (o toma de decisiones), debido a la forma tradicional en que suelen plantearse las actividades de laboratorio.

En el caso del 1º problema, “¿Qué detergente lava mejor?”, las estrategias de resolución consideradas son muy similares entre sí, hecho que puede deberse a los consensos adoptados al trabajar en grupos, o equipos de investigación, antes de la entrega de los informes finales (Vilches y Gil, 2011).

Por otra parte, en el caso del problema abierto “¿Qué tejido abriga más?”, resuelto individualmente, sí que existe una mayor variedad de estrategias de resolución, como se observa en la Tabla 5. Para este problema (Cuadro 2), una parte destacable de los escolares elige como fuente de variación térmica el secador con el calentador apagado (10 estudiantes, 53%), aunque otros optan, tras calentar las latas, por dejarlas enfriándose sin ayuda del secador (2 estudiantes, 11%).

Además, 5 estudiantes (26%) diseñan una experimentación que incluye dos tipos de variación térmica para corroborar los resultados (Tabla 5). Aquí, el haber realizado un análisis cualitativo previo origina que emerja el concepto de aislamiento térmico, siendo el mejor abrigo aquel que produzca una menor variación de temperatura del agua en las latas. Así, incluso se llega a considerar un proceso de enfriamiento y uno de calentamiento para contrastar los resultados.

Estrategia de resolución	N de estudiantes	% de estudiantes
Estrategia incoherente con el problema	1	5,3
Estrategia no operativizada	1	5,3
Estudio de 1 proceso de variación térmica, de los cuales	12	63,1
enfriamiento con secador*	10	52,6
enfriamiento sin secador	2	10,5
Estudio de 2 procesos de variación térmica, de los cuales	5	26,3
enfriamiento con y sin secador	3	15,8
enfriamiento (secador) y calentamiento (olla)	2	10,5

Tabla 5. Estrategias de resolución para “¿Qué tejido abriga más?”

*1 escolar de estos 10 propone comparar los enfriamientos del agua con y sin tejido protector.

En síntesis, las aportaciones presentadas están en la línea de lo expuesto en otros estudios donde se trabaja la *Metodología de Resolución de Problemas como Investigación* con estudiantes de secundaria (Martínez e Ibáñez, 2005; Pavón y Martínez, 2014). Puede afirmarse que los estudiantes de 4º de ESO analizados alcanzan niveles competenciales satisfactorios en los distintos procedimientos de la MRPI sobre la planificación de investigaciones, y mejoran a lo largo del proceso, muy probablemente favorecidos por la discusión del 1º problema abierto tras su realización y revisión por parte del profesor. En este sentido, Taconis y otros (2001) exponen, tras analizar los resultados de múltiples investigaciones en resolución de problemas, que los mejores resultados se obtienen al llevar a cabo procesos de realimentación y puestas en común de los aprendizajes, en línea con la metodología de aula de este estudio.

b) Segunda pregunta de investigación

Para responder esta pregunta, primero se abordan las producciones de los estudiantes para “¿Qué papel absorbe más?”, resuelto antes de introducir la MRPI,

para compararlos con los informes comentados del último problema trabajado con la MRPI, “¿Qué tejido abriga más?”

Situación previa a la MRPI: problema abierto “¿Qué papel absorbe más?”

En la Tabla 6 se recogen los resultados del alumnado para las dimensiones competenciales (DC). Se muestra que antes de trabajar con la MRPI, en todas las DC predominan las asignaciones de los niveles inferiores 1 y 2, excepto en DC3.2, donde los estudiantes invierten todos sus esfuerzos, sin pasar por etapas como el análisis cualitativo o la emisión de hipótesis. Estos resultados contrastan con los presentados en la Tabla 1 (para problemas resueltos con la MRPI).

La Tabla 6 también muestra la ordenación de las DC de peores a mejores resultados: DC1.1 < DC1.2 < DC2 < DC3.1 < DC3.2. Además, en DC1.1 (representación cualitativa), DC1.2 (reformulación) y DC2 (hipótesis), solo 3, 3 y 5 estudiantes, respectivamente, se encuentran al menos en un Nivel 2, y el resto ni siquiera las lleva a cabo. Este hecho puede reflejar la metodología seguida habitualmente en las aulas, centrada en la resolución de problemas cerrados, encaminados a operar con los datos del enunciado (Ramírez, Gil y Martínez-Torregrosa, 1994; Martínez, 2009). Finalmente, a pesar de que muchos escolares pasan directamente a DC3.2, hay 10 estrategias adecuadas (niveles 3 y 4) y 9 erróneas.

Dimensión	Frecuencias (N=19)				Indicadores de Logro	
	N1	N2	N3	N4	IL1	IL2
DC1.1 – Repr. cualitativa	16	3	0	0	-1,00	1,16
DC1.2 – Reformulación	16	2	1	0	-0,89	1,21
DC2 – Emisión hipótesis	14	3	2	0	-0,79	1,37
DC3.1 – Identif. variables	7	9	3	0	-0,68	1,79
DC3.2 – Diseño experim.	0	9	7	3	+0,05	2,68

Tabla 6. Indicadores de Logro para “¿Qué papel absorbe más?”

Desde un punto de vista descriptivo, en DC3.1, *identificación y control de las variables*, el número de estudiantes en los niveles 1 y 2 (16, 84%) es mucho mayor que el de los niveles superiores (3, 16%), y ninguno explicita las variables del problema (Nivel 4).

Un 37% de estudiantes (7) considera implícitamente variables dependientes inadecuadas (como la masa *total* de los papeles tras humedecerlos, sin pensarlos previamente; Nivel 1). Los alumnos en el Nivel 2 identifican adecuadamente las variables dependiente e independiente, aunque con carácter implícito, y los del Nivel 3, además, identifican implícitamente las dos variables de control.

Si se profundiza en las variables de control (VC), se comprueba que su identificación resulta compleja para el alumnado en un momento inicial (APU, 1987;

Martínez y Varela, 2009). Los porcentajes de estudiantes que consideran las VC para este problema es muy bajo (ver Tabla 7): solo 3 escolares identifican ambas VC.

VC*	Estudiantes																			Ident.*	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	N	%
Superficie de papel				x		x									x	x			x	5	26
Tiempo de humedecer						x										x	x		x	4	21

Tabla 7. Variables de control (VC) identificadas implícitamente en “¿Qué papel absorbe más?”

+ x: VC señaladas implícitamente en la resolución (ningún estudiante las explicita).

* 'Ident.': estudiantes (N y %) que identifican cada VC.

Si se comparan los resultados de la Tabla 7 con los anteriores de la Tabla 4, para un problema abierto trabajado con la MRPI, podría desprenderse la incidencia favorable del modelo propuesto en el control de las variables.

En el *diseño de la experimentación*, DC3.2, es donde se parte de una situación más favorable en términos relativos. En el Cuadro 5 se presenta una resolución de Nivel 4, que al margen de su redacción (estudiante de nacionalidad extranjera), incluye las dos variables de control, indica precauciones y adjunta una representación gráfica del diseño.

- llenar la bandeja de plástico de agua.
 - dejo el papel x, y, z en la bandeja por separado, dejándolo a cada papel 9.5 minutos para que absorbe, es al máximo que puede.
 - saco con cuidado el papel, escuro, dejando el agua que ha absorbido por papel en el vaso precipitado. Hago lo mismo con otros dos papeles en los vasos precipitados individuales.
 - Y por ultimo, peso a cada uno de los 3 vasos con agua en la balanza. Al que más peso tiene, ese papel que habia exprimido su agua en el vaso es de mayor absorción.

papel X, Y, Z
mismo tamaño

dejando lo $\frac{1}{2}$ min en el agua, luego saco pero de no lo llevo a pesar de inmediato.

Cuadro 5. Producción de Nivel 4 para DC3.2, *Diseño de la experimentación*, para “¿Qué papel absorbe más?”, realizada por A19.

En la Tabla 8 se listan las estrategias de resolución adoptadas y los porcentajes de estudiantes que las siguieron. En la categoría *otros métodos cuantitativos* se incluye la medición de: la altura del agua desalojada por cada papel, el tiempo necesario para absorber una cierta cantidad de agua, o la masa *total* de los papeles tras humedecerlos. Algunas de estas estrategias (como la última) no conducen a la solución del problema.

Estrategia de resolución	N de	% de
	Estudiantes	estudiantes
Pesar o medir el volumen de agua absorbida/desalojada	8	42,1
Pesar los trozos de papel antes y después	4	21,1
Otros métodos cuantitativos	5	26,3
Métodos cualitativos	2	10,5

Tabla 8. Estrategias de resolución para “¿Qué papel absorbe más?”

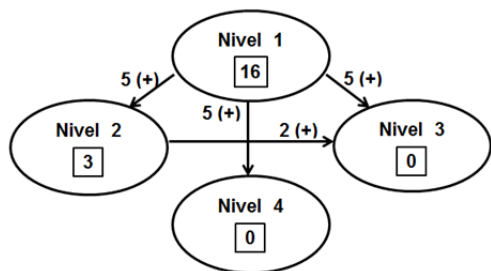
Evolución de las dimensiones competenciales en el proceso

Para responder a la 2ª pregunta del estudio hay que considerar el análisis previo acerca de “¿Qué tejido abriga más?”, planteado en la última sesión sobre la MRPI, y compararlo con el análisis para “¿Qué papel absorbe más?” (problema inicial, sin la MRPI). Lo que ahora compete es analizar el desarrollo del modo de planificar investigaciones de los estudiantes, considerando las dimensiones competenciales DC1.1 a DC3.2. Para ello, se elaboran diagramas cualitativos de tipo Bliss, presentados en la Figura 1, para percibir intuitivamente la evolución individual de los estudiantes (Osborne et al., 1990; Pavón y Martínez, 2014). En la figura, en el cuadro de cada elipse se incluye el número de estudiantes y el nivel en que se encuentran para “¿Qué papel absorbe más?”, y con las flechas se indica la dirección y el número de estudiantes que pasan de un nivel a otro a lo largo del proceso, que finaliza con la resolución de “¿Qué tejido abriga más?”

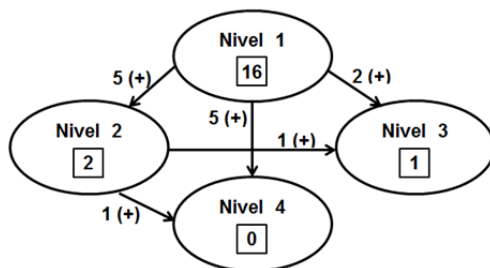
Los diagramas de Bliss dan cuenta de que, tras el trabajo con la MRPI, la evolución en la representación cualitativa (DC1.1), la reformulación (DC1.2) y la emisión de hipótesis (DC2) es muy relevante, hecho que podría facilitar las posteriores etapas de resolución de problemas sobre diferentes contenidos científicos.

En la Figura 1 también se observa una mejoría en la *identificación y control de variables* (DC3.1), aunque ligeramente menor que en las variables anteriores: son 12 los estudiantes que evolucionan positivamente, y 2 los que retroceden, aunque en el problema final 9 escolares aún muestran dificultades para explicitar las variables (Nivel 2). Por la importancia de estos aspectos en las investigaciones, y en el desarrollo cognitivo de los estudiantes, haría falta trabajar más problemas para lograr niveles competenciales más elevados en este ámbito (Martínez e Ibáñez, 2005), considerando puestas en común del aprendizaje (Taconis, Ferguson-Hessler, Broekkamp, 2001).

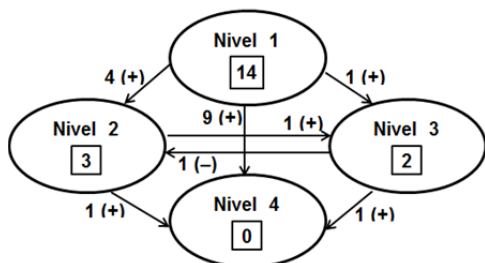
REPR. CUALITATIVA DE LA SIT. PROBLEMÁTICA (DC1.1)



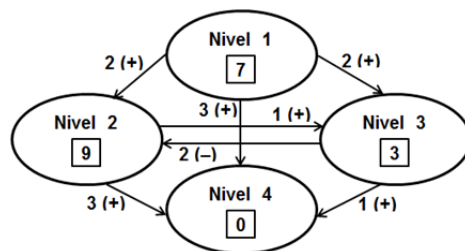
REFORMULACIÓN DEL PROBLEMA ABIERTO (DC1.2)



EMISIÓN DE HIPÓTESIS (DC2)



IDENTIF. Y CONTROL DE VARIABLES (DC3.1)



DISEÑO DE LA EXPERIMENTACIÓN (DC3.2)

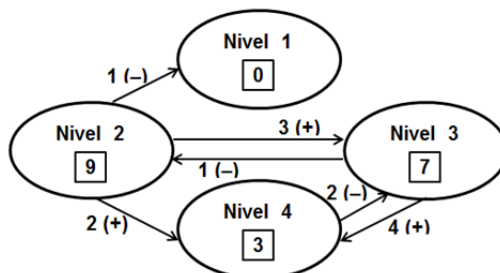


Figura 1. Diagramas de Bliss de evolución de las dimensiones competenciales a lo largo del proceso. (+): transitos de estudiantes a niveles de corrección superiores a los del problema inicial (*avances*); (-): transitos a niveles inferiores (*retrocesos*).

Finalmente, para el *diseño de la experimentación*, la DC que parte de una situación más favorable, también se observa una evolución notable (Figura 1). Si se considera el estudio de APU, los resultados de la muestra con edad media de 15 años son significativamente peores para “¿Qué tejido abriga más?”, problema final de este estudio, que para “¿Qué papel absorbe más?”, el problema inicial resuelto sin la MRPI (APU, 1987, pág. 50). Por ello, los resultados obtenidos resultan aún más

destacables. Aunque se produce un retroceso de nivel en 4 escolares, explicable por la mayor complejidad conceptual (ver Anexo 1), también hay avances para 9 estudiantes, y 2 de ellos pasan del Nivel 2 al 4.

Así, aunque en el problema abierto inicial la mayoría de los alumnos abordaba directamente la estrategia de resolución, invirtiendo todos sus esfuerzos en ella, estos resultados parecen indicar que el paso por etapas previas, como el análisis cualitativo o las hipótesis, influyen muy positivamente en la propia estrategia de resolución. Como afirman los autores del estudio APU mencionado, *“the key point is that performance on setting up is influenced by both procedural and conceptual understanding”* (APU, 1987, pág. 50).

Conclusiones

A partir del análisis realizado, se puede decir que se han obtenido respuestas favorables para ambas preguntas de investigación, y afirmar que se han cumplido los objetivos que promovieron el estudio, acerca de la mejora en la competencia científica.

En relación con la primera pregunta:

- Los estudiantes de 4º de ESO de la muestra han progresado de forma relevante en el aprendizaje de los procedimientos incluidos en la MRPI sobre la planificación de investigaciones. En este sentido, en todas las variables metodológicas consideradas son más los estudiantes situados en los niveles de resolución superiores (3 y 4) que en los inferiores. Además, los indicadores de logro obtenidos nos informan de forma comparada del grado de éxito de los estudiantes en el dominio de las competencias, que de mayor a menor grado son: *emisión de hipótesis, diseño de la experimentación, representación cualitativa de la situación problemática, identificación y control de variables y reformulación del problema abierto*. Asimismo, las dos dimensiones competenciales donde se ha producido una mejoría mayor a lo largo del proceso han sido la *representación cualitativa* y la *emisión de hipótesis*. Esta ordenación se asemeja a la de otros estudios con metodologías indagativas (Martínez y Varela, 2009; Ferrés, Marbà y Sanmartí, 2015), presentándose las mayores diferencias en la emisión de hipótesis, fuertemente dependiente del contexto de los problemas (Blanco, España y Rodríguez, 2012).

En relación con la segunda pregunta:

- Al igual que en otros ámbitos (Martínez e Ibáñez, 2005), la introducción de la MRPI ha posibilitado la mejoría en las dimensiones de la competencia científica en planificación de investigaciones, hacia niveles más complejos y próximos a los utilizados por los científicos. Antes de abordar la *Metodología de Resolución de Problemas como Investigación*, la gran mayoría de los estudiantes de 4º de ESO no abordaban etapas como el análisis cualitativo, la emisión de hipótesis o la explicitación de las variables para planificar investigaciones. En este sentido, se ha comprobado que además de evitar las omisiones de estos procedimientos en sus resoluciones, la MRPI presenta una influencia muy positiva en los propios diseños

experimentales de los escolares, con mención especial al *control* de las variables, resaltando la conveniencia de realizar un análisis cualitativo previo a la propia resolución del problema.

Además, los estudiantes han sido capaces de transferir el aprendizaje de la MRPI a situaciones problemáticas que abordan contenidos científicos diferentes. Este hecho respalda la conveniencia de recurrir a una metodología como la seguida, para facilitar que el alumnado sea competente en la resolución de una mayor variedad de problemas.

No obstante, cabe tener presentes ciertas limitaciones del estudio, como el pequeño número de problemas abiertos considerados, la restricción a las fases de *planificación* de la investigación u otras inherentes al diseño experimental escogido. Por ello, futuras investigaciones podrían ir en la línea de profundizar el estudio sobre estos aspectos, además de analizar diferentes formas de compatibilizar el trabajo individual de los escolares con el cooperativo, en relación con su eficacia para el desarrollo de la competencia científica.

Por último, hay que destacar que en el presente estudio se profundiza en el conocimiento didáctico sobre la MRPI y se amplía a otro contexto escolar, aportándose ejemplos para su posible utilización por parte del profesorado de secundaria.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a los escolares del IES Cardenal Cisneros de Madrid, a la profesora Belén García González y al equipo directivo por facilitarnos el trabajo realizado.

Referencias bibliográficas

- ABD-EL-KHALICK, F., BOUJAOUDE, S., DUSCHL., R., LEDERMAN, N. G., MAMLOK-NAAMAN, R., HOFSTEIN, A., NIAZ, M., TREAGUST, D. y TUAN, H-L. (2004). Inquiry in Science Education: International perspective. *Science Education*, 88(3), 397-419.
- APU (Assesment of Performance Unit). (1987). *Assessing investigations at ages 13 and 15. Science report for teachers: 9*. Letchworth: Adiard & Son Ltd. The Garden City Press.
- BÁRCENA, A. I. (2015). *Estudio de la influencia de una metodología investigativa de resolución de problemas en el aprendizaje de la química en alumnos de Bachillerato*. Madrid: Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <http://eprints.ucm.es/30524/1/T36151.pdf>, 10 de octubre de 2015.
- BLANCO, Á., ESPAÑA, E. y RODRÍGUEZ, F. (2012). Contexto y enseñanza de la competencia científica. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 9-18.

- CAAMAÑO, A. (2012). ¿Cómo introducir la indagación en el aula? Los trabajos prácticos investigativos. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 83-91.
- COMISIÓN EUROPEA (2007). *Science Education now: A renewed pedagogy for the future of Europe* ("Informe Rocard"). Recuperado de: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf, 22 de diciembre de 2014.
- FERRÉS, C., MARBÀ, A. y SANMARTÍ, N. (2015). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 22-37.
- FORTUS, D., KRAJCIK, J., DERSHIMER, R., MARX, R. y MAMLOK-NAAMAN, R. (2005). Design-based science and real-world problem solving. *International Journal of Science Education*, 27(7), 855-879.
- GARRETT, R. M. (1988). Resolución de problemas y creatividad: Implicaciones para el currículo de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 224-230.
- GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4), 447-455.
- GREENO, J. G. (1998). The situativity of knowing, learning and reserach. *American Psychologist*, 53, 5-26.
- HERNÁNDEZ, R. FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. (2006). *Metodología de la Investigación* (4ª Ed.). México: McGraw-Hill.
- IBÁÑEZ, Mª. T. y MARTÍNEZ AZNAR, Mª. M. (2007). Solving problems in genetics (III): Change in the view of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 29(6), 747-769.
- LINN, M. C., DAVIS, E. A., y BELL, P. (2004). *Internet Environments for Science Education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- MARTÍNEZ AZNAR, Mª. M. e IBÁÑEZ, Mª. T. (2005). Solving problems in genetics. *International Journal of Science Education*, 27(1), 101-121.
- MARTÍNEZ AZNAR, Mª. M. (2009). La MRPI: una metodología investigativa para el desarrollo de las competencias científicas escolares en la Educación Primaria. En Cervelló Collazo, J. (Coord.), *Educación científica "ahora": el Informe Rocard* (pp. 47-78). Madrid: Ministerio de Educación.
- MARTÍNEZ AZNAR, Mª. M. y VARELA, Mª. P. (2009). La resolución de problemas de energía en la formación inicial de maestros. *Enseñanza de las ciencias*, 27(3), 343-360.
- MARTÍNEZ AZNAR, Mª M. y BÁRCENA, A. I. (2013). ¿Es beneficioso masticar bien para realizar una buena digestión? Una actividad de indagación en un aula de diversificación. *Educació Química, EduQ*, 14, 19-28.

- MEC (2007). *R.D. 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria*. Recuperado de <http://www.boe.es/boe/dias/2007/01/05/pdfs/A00677-00773.pdf>, 22 de diciembre de 2014.
- OSBORNE, R., BLACK, P., SMITH, M. y MEADOWS, J. (1990). *Light. Primary Space Project, Science Processes and Concept Exploration*. Liverpool: Liverpool University Press.
- PAVÓN, F. y MARTÍNEZ AZNAR, M^a. M. (2014). La Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI): una propuesta indagativa para desarrollar la competencia científica en alumnos que cursan un programa de diversificación. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 469-492.
- PRINCE, M. J. y FELDER, R. M. (2007). The many faces of inductive teaching and learning. *Journal of College Science Teaching*, 36(5), 14-20.
- RAMÍREZ, J. L., GIL, D. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1994). *La resolución de problemas de física y de química como investigación*. Madrid: MEC.
- RODRÍGUEZ, G., GIL, J. y GARCÍA, E. (1999). *Metodología de la investigación cualitativa*. Málaga: Ediciones Aljibe, S.L.
- TACONIS, E., FERGUSON-HESSLER, M. y BROEKKAMP, H. (2001). Teaching science problem solving: an overview of experimental work. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(4), 442-468.
- VARELA, M^a. P. y MARTÍNEZ AZNAR, M^a. M. (1997). Una estrategia de cambio conceptual en la enseñanza de la Física: La resolución de problemas como actividad de investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 173-188.
- VILCHES, A. y GIL, D. (2011). El trabajo cooperativo en las clases de ciencias. Una estrategia imprescindible pero aún infrutilizada. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 69, 73-79.

Correspondencia con los autores

M^a Mercedes MARTÍNEZ AZNAR
 Facultad de Educación - C.F.P.
 Universidad Complutense de Madrid
 C/ Rector Royo Villanova, s.n.
 28040 Madrid
 e-mail: mtzaznar@ucm.es

ANEXO 1

Aspectos fundamentales para la resolución de “¿Qué tejido abriga más?”

DC1.1. Representación cualitativa de la situación problemática.

Los escolares comenzarán por considerar una serie de aspectos: 1) Abrigos, de tejidos naturales (lana, seda) o sintéticos (nylon), como objetos que previenen una bajada de temperatura del cuerpo humano. 2) La pérdida de temperatura de un cuerpo se debe al *equilibrio térmico*, que tiende a igualar las temperaturas de los cuerpos en contacto transfiriendo energía hacia el cuerpo a menor temperatura. 3) El flujo de calor depende de la resistencia de los materiales a que pase calor a su través (*resistividad térmica*). 4) Los materiales con una resistividad térmica elevada se dicen *aislantes*; los *abrigo*s son *aislantes térmicos*. 5) Otros conceptos: el *viento* contribuye a la bajada de temperatura del cuerpo (convección), etc.

DC1.2. Reformulación del problema abierto.

Un enunciado operativo sería, p.ej.: «*Establecer cuál de los dos tejidos (plástico o de lana) da lugar a una menor bajada de la temperatura del agua en el cuerpo-lata, en un tiempo determinado*».

DC2. Emisión de hipótesis.

Un planteamiento podría ser: «*La lana será el tejido que protegerá mejor al cuerpo-lata de una bajada de temperatura, debido a su tradición para la confección de abrigo*s».

DC3.1. Identificación y control de variables.

- Variable dependiente: temperatura final del cuerpo-lata.
- Variable independiente: el tipo de tejido (plástico o de lana).
- Variables de control: el tiempo, las latas (tipo y dimensiones), cantidad de agua en las latas y su temperatura inicial, superficie de los tejidos, modo de producir el enfriamiento.

DC3.2. Diseño de la experimentación.

Para resolver la cuestión planteada, habrá que registrar valores de la temperatura de las latas con el tiempo. Además de los dos tejidos a analizar, los *materiales* que podrían utilizarse son: olla para calentar el agua, tapas para las latas con termómetro incorporado, cronómetro, gomas para sujetar los tejidos, secador de pelo para simular el viento, etc.

Los estudiantes deberán explicar la “*toma de decisiones*” de su estrategia (conviene incorporar una representación gráfica). A modo de ejemplo: «1) *Se envolverán dos latas iguales con dos trozos del mismo tamaño de los dos tejidos*; 2) *Se calentará el agua hasta 50 °C, y se introducirán 25 cL en una de las latas, que se cerrará*; 3) *La lata se dejará durante 10 minutos a 30 cm del secador (con el calentador apagado), y se tomarán medidas de la temperatura cada 2 minutos*; 4) *Se repetirá 2. y 3. con la otra lata, envuelta por el otro tejido*. 5) *Se comprobará en qué caso la bajada de temperatura del cuerpo-lata es menor*».

ANEXO 2

Niveles de corrección para las dimensiones competenciales en “¿Qué tejido abriga más?”

Para todas las dimensiones, el **Nivel 1**: “No contestan, o sus aportaciones no son relevantes”.

Dimensión	Nivel	Descripción
DC1.1	2	Explican conceptos como «abrigar = proteger del frío» o «tejido = material que compone el abrigo», de forma poco exhaustiva.
	3	Explicitan los conceptos del Nivel 2 (p. ej., tejidos sintéticos o naturales, «el viento es aire en movimiento», etc.).
	4	Además del requisito anterior, introducen expresamente el concepto de <i>aislamiento térmico</i> .
DC1.2	2	La reformulación es inadecuada: no se operativiza el problema.
	3	Reelaboran el enunciado adecuadamente (cambios de temperatura interna).
	4	Además de lo anterior, expresan la necesidad de considerar un tiempo dado para estudiar la variación térmica.
DC2	2	Plantean una hipótesis incoherente con el marco teórico, o bien los enunciados no representan conjeturas.
	3	Realizan un enunciado coherente con el problema, pero no lo expresan en términos de hipótesis.
	4	Además de lo anterior, la redactan correctamente.
DC3.1	2	Identifican erróneamente las variables independiente (VI) y/o dependiente (VD), u omiten su identificación pero en la estrategia las señalan implícitamente.
	3	Identifican adecuadamente las variables, aunque o bien no incluyen <i>dos</i> variables de control (VC), o bien no explicitan inequívocamente VI y VD.
	4	Explicitan correctamente las variables VI, VD y, al menos, <i>dos</i> VC.
DC3.2	2	O bien no concretan la estrategia («someter latas a diferentes cambios») o bien los cambios de temperatura serían difíciles de detectar.
	3	Diseñan una estrategia correcta, cuyo desarrollo podría conducir a la solución del problema.
	4	Además de lo anterior, inciden en las magnitudes que permiten resolver el problema, o en precauciones a considerar. Algunos plantean realizar otro experimento de contraste.

Capítulo 6

Evaluación de la Propuesta Formativa

6. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA FORMATIVA

En general, cualquier asignatura que se implemente pretende conseguir unas determinadas finalidades. Por ello, interesa saber hasta qué punto resulta eficaz, en términos de los logros y aprendizajes involucrados.

Para la propuesta presentada, teniendo en cuenta el papel central de las *creencias profesionales* en la construcción del CDC –como elemento determinante en la percepción del aprendizaje, del currículo, de las estrategias de enseñanza, etc.– una primera parte de su evaluación debe vincularse al cambio en las concepciones hacia aquellas características de un modelo didáctico constructivista o de investigación escolar (propugnado desde las asignaturas). Un desplazamiento en este sentido, al menos a nivel declarativo, supondría un primer paso para permitir la construcción de un CDC alineado con los resultados de la investigación didáctica, y a su vez, facilitaría un mejor aprendizaje escolar.

Por otra parte, el éxito debe contrastarse de forma específica en relación a la resolución del problema profesional relacionado con el diseño de actividades escolares por indagación, mediante la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI). En concreto, interesa conocer la visión asumida por los futuros profesores sobre su transferibilidad a la práctica docente.

Desde el marco teórico de referencia, hay evidencias de las resistencias que suponen para el profesorado la adopción de este tipo de metodologías y, desde nuestro punto de vista, más allá de las experiencias vividas durante la formación inicial, consideramos que la utilización de este tipo de metodologías guarda una estrecha conexión con las creencias y percepciones sobre la ciencia, su enseñanza y su aprendizaje. Para progresar en estas ideas, se profundiza en las visiones de los futuros profesores sobre la aplicabilidad de la MRPI a la Educación Secundaria, sobre sus fortalezas y debilidades.

Con ese mismo empeño, para intentar descifrar qué puede condicionar la aceptabilidad de la indagación para su implantación en el aula, se considera relevante relacionar las percepciones sobre la MRPI con las creencias profesionales en un sentido amplio, con las titulaciones de los profesores en formación inicial y con sus logros al resolver problemas abiertos. Además, también se comparan dichas percepciones con las mantenidas por los escolares de Secundaria que han trabajado con la MRPI en el contexto de asignaturas de física, química y biología.

En las páginas siguientes se desarrollan los correspondientes estudios y los resultados y conclusiones obtenidos. Estos artículos (publicados e inéditos) se vinculan a la consecución de los *Objetivos 2, 3 y 5* de la tesis doctoral:

- «Comprobar la eficacia de la propuesta formativa en términos de evolución en las creencias profesionales de los futuros docentes»

- «Caracterizar la visión final de los futuros profesores sobre el problema profesional: «¿Cómo se pueden diseñar actividades de enseñanza-aprendizaje para una Unidad Didáctica?»»
- «Identificar la visión asumida por los futuros profesores sobre la implementación de la MRPI en Educación Secundaria»

Asimismo, en cada artículo se presentan objetivos más específicos, pero asociados a estos tres fines más generales.

Artículo 5 (*inédito – documentación complementaria*)

Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (*inédito*). Evaluación de una propuesta para la formación inicial del profesorado de física y química a través del cambio en las creencias profesionales. Parte II.

Artículo 6 (*publicación del compendio*)

Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (2016). Indagación y modelos didácticos: La reflexión de cuatro profesores de física y química en formación inicial. *Campo Abierto*, 35(1), 145–160. ISSN: 0213-9529. Recuperado de: <http://mascvuex.unex.es/revistas/index.php/campoabierto/article/view/2839>

Artículo 7 (*inédito – documentación complementaria*)

Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (*inédito*). Contraposición de ideas sobre la indagación entre futuros profesores y estudiantes de secundaria.

Artículo 8 (*inédito – documentación complementaria*)

Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (*inédito*). La visión sobre la indagación en la formación inicial de profesores de física y química.

**Evaluación de una propuesta para
la formación inicial del profesorado de física y química
a través del cambio en las creencias de los participantes**

Evaluación de una propuesta para la formación inicial del profesorado de física y química a través del cambio en las creencias de los participantes

Iñigo Rodríguez Arteche, M^a Mercedes Martínez Aznar

*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Educación–C.F.P.,
Universidad Complutense de Madrid*

Este artículo evalúa una propuesta formativa para las asignaturas de Didáctica de la Física y de la Química del Máster en Formación del Profesorado de Secundaria (MFPS), a través del cambio en las creencias profesionales de los participantes. Para ello se trabaja en dos promociones (2014/15 y 2015/16) con los mismos formadores, y se utiliza un cuestionario tipo Likert referido a los modelos didácticos tradicional y constructivista, que incluye las dimensiones sobre: contenidos, metodología, evaluación y percepción profesional. Tras analizar los resultados de forma descriptiva e inferencial, se comprueba una evolución significativa de los estudiantes hacia planteamientos constructivistas en todas las dimensiones, si bien se detectan algunos obstáculos. Además, se constata cierta dependencia del cambio en las creencias según la promoción de los estudiantes. A raíz de estos resultados, se realizan sugerencias para mejorar el proceso formativo.

Palabras clave: formación inicial del profesorado de secundaria; creencias; modelos didácticos; evaluación de programas.

Evaluation of a proposal for initial physics and chemistry teacher training through the change in the participants' beliefs

This article evaluates a learning proposal for the Physics and Chemistry Education subjects of the Spanish Master's in Secondary Education. With that purpose, we consider the change in the future teachers' professional beliefs. These participants took part in the subjects in the school years 2014/15 and 2015/16, with the same professors. In order to carry out a descriptive and inferential analysis, a Likert-type questionnaire is used, which is referred to traditional and constructivist teaching models and includes the following dimensions: contents, methodology, evaluation and professional perception. The results indicate a significant change of the students' beliefs towards constructivist positions in all dimensions, although some obstacles are detected. In addition, we observe a certain dependence of this evolution on the specific group of students. Finally, some suggestions are made in order to improve the learning proposal.

Keywords: initial secondary education teacher training; beliefs; teaching models; program evaluation.

INTRODUCCIÓN

A pesar del aumento en el número de investigaciones sobre programas de formación inicial del profesorado, la literatura cuenta con pocos ejemplos sobre experiencias específicas (Martínez-Chico, Jiménez-Liso & López-Gay, 2014), lo que dificulta el análisis sobre las estrategias más adecuadas para la formación docente. Por este motivo, es necesario desarrollar investigaciones que evalúen propuestas concretas (Jiménez-Tenorio & Oliva, 2016) para favorecer la construcción de un conocimiento útil para la preparación del profesorado.

En un artículo anterior (Martínez-Aznar, Rodríguez-Arteche & Gómez-Lesarri, 2017), punto de partida de éste, se presentó una propuesta detallada para las asignaturas de

Didáctica de la Física y de la Química del Máster en Formación del Profesorado de Secundaria (MFPS). En dicho trabajo se incorporó la temporalización específica y las actividades trabajadas en las asignaturas, organizadas en torno a «problemas profesionales» de tipo curricular a los que se enfrenta el profesorado (Porlán et al., 2010).

La fundamentación de la propuesta reside en el constructo llamado *Conocimiento Didáctico del Contenido-CDC* (Pedagogical Content Knowledge-PCK), e implica reelaborar el conocimiento disciplinar de forma que sea comprensible al alumnado (Shulman, 1986). Además, se considera prioritario ofrecer vivencias de aprendizaje de tipo constructivista al futuro profesorado (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016a), para favorecer una reflexión acerca del aprendizaje con metodologías innovadoras como la indagación (Pittis y Duncan, 2012), y contrarrestar la percepción de irrelevancia de las estrategias que se pudieran presentar de forma discursiva en la formación inicial. Finalmente, y como producto resultante del curso, los estudiantes deben elaborar Unidades Didácticas (UD) escolares siguiendo el «Modelo para la Elaboración de UD» (Martínez-Aznar, Varela, Ezquerro & Sotres, 2013).

Como continuación natural de este trabajo previo, surge la necesidad de evaluar hasta qué punto se consiguen los objetivos de la propuesta didáctica. Para ello, se contempla como criterio de evaluación la posible evolución en las creencias profesionales de los estudiantes de las promociones 2014/15 y 2015/16. En este sentido, otros autores sugieren la especificidad de estos cambios en relación con las intervenciones educativas (Benarroch, Cepero & Perales, 2013), y reclaman estudiar la relación entre la evolución del pensamiento docente y aspectos concretos de las asignaturas (Solís, Martín del Pozo, Rivero & Porlán, 2013). Por ello, en este artículo pretendemos arrojar luz sobre estos aspectos.

LAS CREENCIAS DEL PROFESORADO DE CIENCIAS

Desde mediados del s. XX, las investigaciones sobre el profesorado y la enseñanza se han ido trasladando desde las conductas observables sobre destrezas docentes hacia el conocimiento y las creencias del profesorado, lo que se denomina genéricamente *pensamiento del profesor*. Además, la evolución de los métodos cualitativos ha permitido un cambio de marco teórico desde el conductismo hacia el cognitivism.

Las *creencias*, en ocasiones denominadas concepciones, se consideran construcciones psicológicas formadas por ideas o imágenes que dirigen las acciones docentes y actúan como referentes para interpretar nuevas situaciones (Fernández-Nistal, Pérez-Ibarra, Peña & Mercado, 2011; Pajares, 1992). Estas construcciones se vinculan con experiencias personales, se consideran difíciles de modificar (Van Driel, Bulte & Verloop, 2007; Wideen, Mayer-Smith & Moon, 1998) y presentan distintos niveles de análisis (Bryan & Abell, 1999): el declarativo, al interpelar a los sujetos, y el inferencial, a partir del diseño y desarrollo de la práctica docente.

En los últimos años, diversos estudios muestran la repercusión del pensamiento del profesor en sus prácticas docentes (Van Driel et al., 2007) y en los logros alcanzados por los estudiantes (Bryan, 2012). Un claro ejemplo es el de la investigación de las creencias acerca de la naturaleza de la ciencia y sobre la autoeficacia docente (Chen, Morris & Mansour, 2015). Así, se constata cómo los profesores con una visión más simplificada de la ciencia –entendiéndola como conjunto de verdades absolutas– tienden a enseñar de

forma transmisiva (Kang & Wallace, 2004) y, cómo las creencias negativas sobre la autoeficacia llevan a desarrollar estrategias de enseñanza centradas en el contenido y en el profesor, en vez de en el aprendizaje de los alumnos (Mellado et al., 2010).

En lo que respecta a la preparación del profesorado, y en paralelo con las concepciones alternativas de los escolares, resulta difícil promover una formación inicial sólida si no se parte de las creencias de los participantes –el primer problema profesional de nuestra propuesta: *¿qué deberían saber y ser capaces de hacer los profesores?* (Cochran-Smith, 2001)–. Las creencias actúan como un filtro frente a las propuestas formativas, y constituyen referentes básicos para el desarrollo profesional (Pajares, 1992; Wideen et al., 1998). Por ello, es conveniente considerar los llamados «modelos didácticos» con el fin de mejorar la calidad educativa, al constituir una herramienta de análisis y actuación reflexiva en el proceso de formación del profesorado (Fernández-González, Elortegui, Rodríguez-García & Moreno-Jiménez, 2001; Solís, Porlán & Rivero, 2012).

La idea de los *modelos* hace referencia a maneras de entender la enseñanza y el aprendizaje que resultan de la cristalización conjunta (y en cierta parte coherente) de diferentes creencias (Pontes, Poyato & Oliva, 2015). Así, aunque comprender las actuaciones concretas de los profesores puede requerir del solapamiento de las creencias de dos o más modelos didácticos, este constructo resulta útil como «puente» para relacionar la teoría y práctica de cara a la transformación educativa.

En el ámbito de las ciencias, Porlán, Rivero y Martín del Pozo (1998) se refieren a los modelos didácticos tradicional, tecnológico, espontaneísta y alternativo o investigativo, mientras que Fernández-González et al. (2001) identifican el transmisor, tecnológico, artesano, descubridor y constructivista. Igualmente, para un contexto más genérico, Pozo, Scheuer, Mateos y Pérez-Echeverría (2006) consideran los modelos directo, interpretativo y constructivo. En todos los casos, se puede considerar un continuo entre el modelo tradicional (transmisor o directo) y el constructivista (alternativo), desde el «nivel de partida» esperable para muchas creencias del profesorado –por la interiorización de la cultura escolar tradicional (Porlán et al., 2010)– hasta el propio de un desarrollo profesional deseable (Comisión Europea, 2007; Porlán et al., 2011), pasando por distintos modelos intermedios.

Por todo ello, en este estudio consideraremos explícitamente los modelos tradicional y constructivista (Hamed, Rivero & Martín del Pozo, 2016; Martínez-Aznar et al., 2001; Woolley, Benjamin & Woolley, 2004). El modelo didáctico *tradicional* asume que el profesor es fuente de conocimiento, y tiene por misión transmitirlo a los estudiantes por medio de explicaciones, demostraciones e ilustraciones de los contenidos científicos y, donde el alumno debe asimilarlos y aplicarlos en los exámenes (Kang & Wallace, 2004; Tsai, 2006). Por el contrario, la visión *constructivista* concibe el aprendizaje de las ciencias como una construcción de conocimientos a partir de las ideas previas de los estudiantes, donde comprender supone establecer relaciones (Fernández-González et al., 2001). En coherencia con lo último, la función del profesor es guiar y orientar al estudiante en dicho aprendizaje a través de metodologías activas y colaborativas.

A raíz de todo lo explicado, resulta comprensible que la evaluación de experiencias de formación inicial y permanente del profesorado en términos del cambio de creencias, constituya una línea de investigación prometedora en didáctica de las ciencias. En este sentido, se han obtenido resultados dispares y dependientes del nivel de inmersión en

talleres prácticos de corte constructivista, reflexiones grupales e individuales, o la utilización del vídeo como recurso didáctico (Fives, Lacatena & Gerard, 2015; Tan & Town-drown, 2009).

En el contexto español, y para la formación inicial de profesores de ciencias de secundaria, existen distintos trabajos sobre las creencias. En el marco del CAP (Curso de Aptitud Pedagógica), se han realizado estudios sobre diferentes dimensiones curriculares y profesionales del pensamiento docente (Martínez-Aznar et al., 2001; Porlán et al., 1998), y acerca de cómo los futuros profesores se adscriben a los modelos didácticos (Fuentes, García-Barros & Martínez-Losada, 2009). Estas creencias también se han inferido a partir de Unidades Didácticas realizadas en el Practicum (Solís et al., 2012).

De forma más reciente, para el MFPS también se encuentran estudios sobre las creencias en relación con los modelos didácticos (Poyato 2016; Solís et al., 2013), acerca de las dificultades percibidas en la enseñanza-aprendizaje y cómo superarlas (Pontes & Poyato, 2016), sobre las emociones que los estudiantes prevén en su futura docencia (Costillo, Borrachero, Brígido & Mellado, 2013) y otros donde a partir de preguntas abiertas, se indaga sobre los tres aspectos anteriores (Pontes et al., 2015). Por otra parte, Benarroch et al. (2013) indican que la efectividad del Máster parece depender de las propuestas específicas implementadas pero, no obstante, se echan en falta programas formativos concretos que materialicen las directrices genéricas consensuadas. Por ello, en este trabajo se considera la evolución en los modelos didácticos como herramienta para evaluar la eficacia de la propuesta formativa presentada en el artículo previo (Martínez-Aznar et al., 2017) para las asignaturas de Didáctica del MFPS de la Universidad Complutense de Madrid.

OBJETIVOS

Para evaluar la propuesta formativa de las asignaturas de Didáctica de la Física y Didáctica de la Química, implementada en dos grupos-clase de promociones consecutivas, se plantean dos preguntas de investigación relacionadas con creencias sobre los contenidos, metodología y evaluación en los procesos de enseñanza-aprendizaje, y con la percepción profesional de los futuros profesores:

1. ¿Cuáles son las creencias iniciales y finales de los participantes y cómo evolucionan a causa del programa desarrollado?
2. ¿Cómo se ve afectada la evolución de las creencias en los diferentes grupos-clase de futuros profesores?

METODOLOGÍA

Para dar respuesta a las preguntas de investigación, se lleva a cabo una investigación pretest – postest mediante un cuestionario tipo Likert.

Contexto de la investigación y muestra

El estudio se ha desarrollado durante los cursos 2014/15 y 2015/16, donde los mismos formadores han implementado la propuesta del artículo previo para trabajar la Didáctica de la Física y la Didáctica de la Química –de 5 ECTS cada una, con el contexto descrito en Martínez-Aznar et al. (2017)–. En cada caso los participantes pertenecen a

muestras incidentales, el único grupo-clase de esta especialidad del MFPS en la Universidad Complutense de Madrid, y constituyen la totalidad de la población que cubre el cuestionario en los momentos habilitados. Las características de los 52 profesores en formación inicial se recogen en la Tabla 1.

Recogida de datos. El cuestionario

La información para el análisis se recaba con un cuestionario adaptado de otro validado y más extenso, que fue elaborado en nuestra facultad para analizar las creencias del futuro profesorado tras cursar el CAP (Martínez-Aznar et al., 2001). Este instrumento también ha sido utilizado en otras investigaciones –*p.ej.*, (Contreras, 2009)–.

Su versión actual se compone de 30 ítems, que deben valorarse con una escala del 1 (totalmente en desacuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo). Los ítems se muestran en las Tablas 2-5, agrupados según las siguientes dimensiones curriculares y profesionales: Contenidos, Metodología («desarrollo de la enseñanza» y «participación y adaptación al alumno»), Evaluación y Percepción Profesional («del rendimiento escolar» y «de la formación del profesor»). A pesar de la existencia de diferentes tipologías sobre modelos didácticos, por conveniencia metodológica el instrumento considera ítems enunciados como una dicotomía entre los modelos tradicional y constructivista, siguiendo sugerencias como las de Woolley et al. (2004) o Siddiquee e Ikeda (2013).

Curso	2014/15	2015/16
Número de estudiantes y edad media	27 estudiantes (media: 27.7 años)	25 estudiantes (media: 27.6 años)
Distribución por sexos	10 mujeres (37%) y 17 hombres (63%)	13 mujeres (52%) y 12 hombres (48%)
Distribución por titulaciones iniciales	10 químicos (37%), 9 físicos (33%) y 8 con otras titulaciones (30%): 3 ing. caminos, 1 ing. montes, 1 ing. industrial, 1 ing. químico, 1 ing. materiales, 1 graduado en farmacia	10 químicos (40%), 9 físicos (36%) y 6 con otras titulaciones (24%): 2 ing. industriales, 2 graduados en ciencia/tecnología de alimentos, 1 ing. civil y 1 arquitecto
Estudiantes con titulaciones complementarias	8 estudiantes con otra titulación de Máster (30%), y 1 estudiante con Doctorado (4%)	8 estudiantes con otra titulación de Máster (32%), y 2 estudiantes con Doctorado (8%)
Estudiantes que han tenido contacto con la docencia	18 estudiantes (67%), sobre todo en academias o clases particulares	19 estudiantes (76%), sobre todo en academias o clases particulares

Tabla 1. Características de los estudiantes de Didáctica de la Física y Didáctica de la Química de la investigación

Para adaptar el instrumento, inicialmente se llevó a cabo una selección de proposiciones, y se introdujeron otras como: la función de explicar verbalmente los contenidos, la de guiar la construcción de conocimientos propios, las pautas dadas en los guiones de laboratorio o la formación previa y permanente del profesorado. Esta nueva versión fue sometida a juicio de expertos (4 profesores de didáctica de Física y Química) para valorar y puntuar la claridad y pertinencia de las proposiciones seleccionadas. Además, el nuevo

instrumento fue utilizado en un estudio piloto con estudiantes de máster del curso escolar previo a los aquí analizados. Este proceso permitió definir la selección final de los ítems y reformular varias proposiciones para facilitar su lectura. Como apunte, cabe decir que 25 de los ítems del instrumento final están vinculados al cuestionario previo (Martínez-Aznar et al., 2001).

Para determinar la fiabilidad del instrumento se calcula el coeficiente Alfa de Cronbach (α), obteniendo un valor de 0.612 en el pretest ($n = 52$), otro valor de 0.869 en el postest ($n = 52$) y un resultado de 0.845 agrupando ambos momentos de recogida de información ($n = 104$, pre+post). Estos resultados indican una fiabilidad interna suficiente, ya que están por encima del valor aceptable 0.6 (Jisu, Delorme & Reid, 2006; Morales, Urosa & Blanco, 2003).

Análisis de los datos

Para analizar las respuestas al cuestionario, la escala numérica se *reconvierte*: los valores numéricos 1-2 se asignan cuando los participantes muestran acuerdos con proposiciones vinculadas al modelo didáctico tradicional (o desacuerdos respecto al modelo constructivista); en cambio, los valores 4-5 se consideran al defenderse las proposiciones vinculadas al constructivismo (o discrepar sobre las asignadas al modelo didáctico tradicional).

Para responder a la primera pregunta de investigación, las respuestas por parte de las promociones 14/15 y 15/16 se agrupan. Así, para caracterizar las creencias iniciales y finales de estos participantes, se calculan y representan las frecuencias y porcentajes de respuesta en cada ítem. Se considera la adscripción de los participantes a una de las dos tendencias cuando los sujetos la señalan en una proporción al menos el doble de la otra. Además, para determinar el cambio en las creencias, se utiliza la prueba no paramétrica de Wilcoxon (Z) para muestras relacionadas –lo que requiere identificar a los estudiantes–. La elección de esta prueba se debe al incumplimiento de los supuestos de normalidad en los datos recogidos. La hipótesis nula de la prueba consiste en que «no hay diferencias significativas entre los resultados del pretest y el postest», y se considera un nivel de confianza del 95% para rechazarla ($p < 0.05$). Además, en vistas a comparar los cambios detectados (magnitud o fortaleza de las diferencias), se calcula el tamaño del efecto (TE) en cada proposición y dimensión global. Para ello se utiliza el estadístico:

$$r = \frac{Z}{\sqrt{n_x + n_y}} \quad [1]$$

siguiendo las recomendaciones de Field (2009) y Pallant (2010) para su cálculo en la estadística no paramétrica. En la expresión [1], Z representa el estadístico de Wilcoxon, y n_x / n_y el número de observaciones de las variables (resultados del pretest y postest). Así, en nuestro caso $n_x = n_y = 52$. Por otra parte, la utilización del indicador [1] requiere considerar los siguientes criterios de interpretación del TE: $r < 0.1$, despreciable; $0.1 \leq r < 0.3$, pequeño; $0.3 \leq r < 0.5$, mediano; $0.5 \leq r$, grande.

Para responder a la segunda pregunta de investigación e indagar sobre el distinto impacto del programa en grupos-clase diferentes, los resultados se analizan por separado en ambas promociones (medias, desviaciones típicas, estadísticos Z y r). De esta forma, se ha hecho un estudio específico para aquellos ítems que muestran una diferencia en los TE igual o superior a 0.25, valor asumido como relevante para pormenorizar el análisis (Pallant, 2010).

RESULTADOS

Este apartado se organiza según las preguntas de investigación planteadas:

Primera pregunta de investigación

El análisis de las respuestas conjuntas de los grupos-clase se presenta agrupado según las cuatro dimensiones de pensamiento docente consideradas. De esta forma, se utilizan gráficos de barras para representar los planteamientos de tipo tradicional o constructivista, y se presentan tablas con los estadísticos Z de Wilcoxon y r (tamaños del efecto) para los ítems del cuestionario y las puntuaciones medias en las distintas dimensiones.

A. Dimensión de contenidos

La Figura 1 muestra que al comienzo de las asignaturas de Didáctica los participantes manifiestan creencias de tipo tradicional en los tres primeros ítems, defendiendo la supremacía del conocimiento científico. En cambio, reconocen la necesidad de trabajar en clase con las ideas de los alumnos (ít. 4) sin considerarlas como «errores que el profesor debe eliminar» (ít. 5). Ello supone una inconsistencia en los modelos didácticos asignados para esta dimensión.

Al término de las asignaturas se da la paradoja de que dos proposiciones contrarias como la 1 y la 2 aumentan su aceptación, aunque el cambio significativo se produce en la segunda ($r = 0.35$, ver Tabla 2), que reconoce la peculiaridad del conocimiento escolar. Por otra parte, aunque los futuros profesores mantengan que los contenidos escolares deben aproximarse a los científicos, el ítem 3 conlleva un cambio significativo hacia la tendencia constructivista ($r = 0.20$). Además, el ítem 4 sobre el trabajo con las ideas previas es el que presenta el mayor tamaño del efecto de todo el cuestionario ($r = 0.57$), con el 100% de las respuestas a favor de su utilización. Con ello se pone de manifiesto que el aspecto de las concepciones alternativas resulta ser uno de los contenidos al que los futuros profesores otorgan una mayor relevancia, quizás por ser un aspecto llamativo teniendo en cuenta el bagaje científico de estos estudiantes. En este sentido, la importancia atribuida a la utilización de las ideas previas por parte de los futuros maestros de primaria parece ser considerablemente menor (Martín del Pozo & De-Juanas, 2013).

Creemos que el haber pedido a los participantes que resolvieran pruebas sobre concepciones alternativas en física y química, y que comprobaran que ellos mismos las poseían, ha favorecido una reflexión fructífera –en mayor medida que a través del trabajo en el CAP de nuestra universidad (Martínez-Aznar et al., 2001)–. Sin embargo, aunque en el ítem 5 sobre la forma de trabajar las ideas previas el 67.3% de las respuestas sean de tipo constructivista –un resultado más positivo que el del estudio posttest de Solís et al. (2013) con una muestra de 8 facultades– el efecto de la propuesta en esta proposición no ha sido el esperado ($r = 0.09$). En esta línea, otros autores también han detectado que el conocimiento sobre las ideas previas no implica necesariamente una visión constructivista sobre el modo de trabajarlas (Levitt, 2002), y que el futuro profesorado suele inclinarse por estrategias centradas en el docente para abordarlas. Además, se ha llegado a proponer como obstáculo la concepción del conocimiento científico como *conocimiento verdadero* (Porlán et al., 2011), hecho que encaja bien con nuestros resultados.

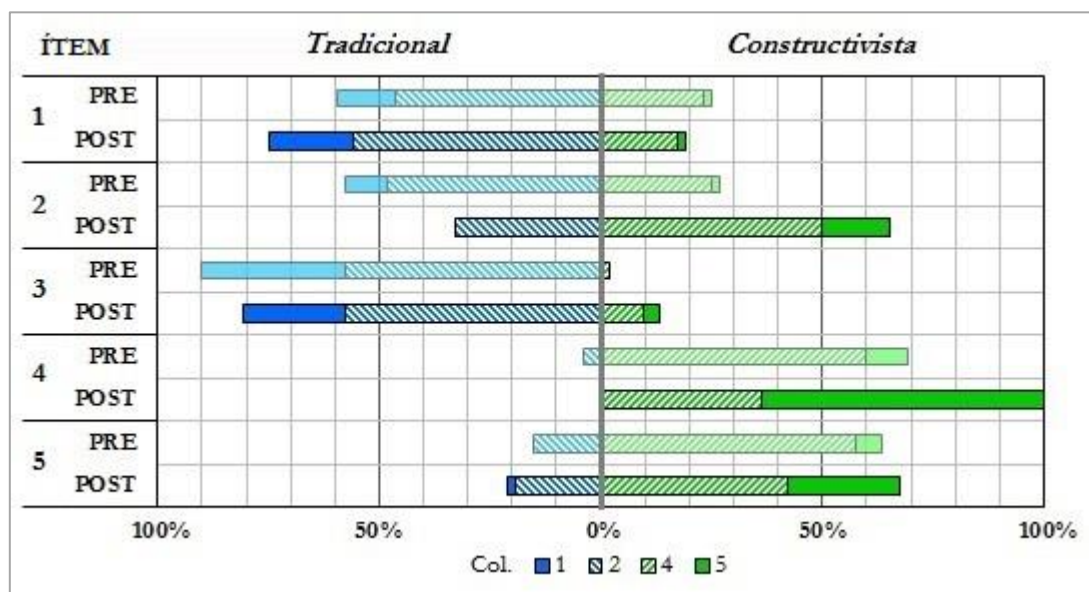


Figura 1. Caracterización de las creencias para la dimensión de «contenidos» en el pretest y el postest. Se indican los % de estudiantes que muestran desacuerdos (1 y 2) y acuerdos (4 y 5) con la posición constructivista

Ítem ^A	Wilcoxon (Z) ^B	Tamaño del efecto (r) ^C	Cambio
1. El conocimiento científico es la forma de pensamiento objetiva y correcta. (MT)	-1.489	Pequeño (-0.15)	Afianzamiento en el MT
2. Los contenidos escolares son una forma peculiar de conocimiento, distinta al conocimiento científico y al conocimiento ordinario. (MC)	-3.549 ***	Mediano (+0.35)	Desde MT hacia MC
3. Los contenidos escolares de física y química deben ser próximos al conocimiento científico. (MT)	-2.011 *	Pequeño (+0.20)	Debilitamiento del MT
4. Las ideas de los alumnos sobre los conceptos de ciencias son un conocimiento alternativo con el que hay que trabajar en clase. (MC)	-5.849 ***	Grande (+0.57)	Afianzamiento en el MC
5. Las ideas de los alumnos sobre los conceptos de ciencias son errores que el profesor debe eliminar. (MT)	-0.962	Despreciable (+0.09)	---
Global. Categoría sobre «contenidos»	-3.791 ***	r = +0.37, mediano	

^A MT: proposición vinculada al modelo tradicional; MC: proposición vinculada al modelo constructivista. ^B * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$

^C Avances (+) y retrocesos (-) respecto a la visión constructivista

Tabla 2. Cambios en las creencias para la dimensión de «contenidos»

B. Dimensión de metodología

En relación con la metodología docente, la Figura 2 muestra diferencias evidentes entre el «desarrollo de la enseñanza» y la «participación y adaptación al alumno». En la primera categoría los estudiantes comienzan con creencias mayoritariamente tradicionales, mientras que en la segunda éstas son próximas al constructivismo, un *planteamiento ambiguo* similar al detectado con futuros maestros al inicio de su formación didáctica (Hamed et al., 2016).

Los resultados de nuestro pretest manifiestan acuerdos sobre la participación del alumnado en su propio aprendizaje (ít. 12), la conveniencia de trabajar mediante proyectos o pequeñas investigaciones (ít. 14) o en modificar la metodología del profesor si el alumnado lo demanda (ít. 15). Sin embargo, paralelamente los grupos defienden la consigna «el profesor explica, el alumno aprende» (ít. 6), la necesidad de recurrir a libros de texto o apuntes claros (ít. 9), que el trabajo de laboratorio esté dirigido mediante guiones (ít. 11) y que sirva como aplicación de los conocimientos (ít. 10). De todo ello se desprende que al comienzo del Máster los estudiantes hacen suyos unos planteamientos políticamente correctos sobre la participación del alumnado (Pontes et al., 2015), aunque a la vez sostienen un modelo de enseñanza centrado en el profesor. Además, nuestros resultados se asemejan a los de Poyato (2016), donde al inicio del máster los estudiantes defendían que «para aprender bien lo importante es que el alumno reciba explicaciones claras» y «que esté atento», con datos de aceptación cercanos al 90%.

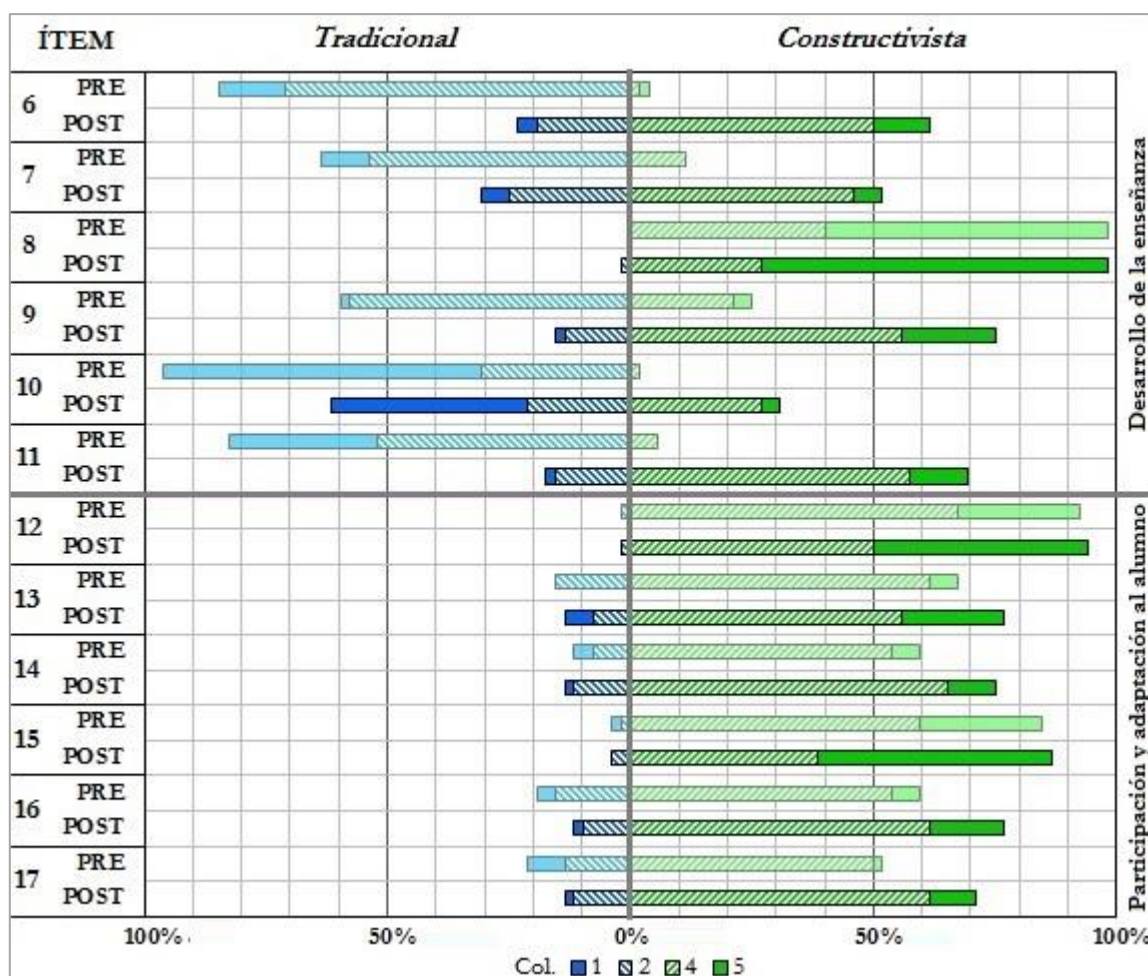


Figura 2. Caracterización de las creencias para la dimensión de «metodología» en el pretest y el postest. Se indican los % de estudiantes que muestran desacuerdos (1 y 2) y acuerdos (4 y 5) con la posición constructivista

En cambio, al término de las asignaturas la indefinición del modelo didáctico de nuestros estudiantes se resuelve en buena medida, pues gran parte de las concepciones sobre «desarrollo de la enseñanza» transitan a visiones constructivistas, o al menos a intermedias ($r = 0.58$, el mayor de las seis subdimensiones). En esta categoría se obtienen avances significativos en 5 de los 6 ítems, como se observa en la Tabla 3.

Ítem ^A	Wilcoxon (Z) ^B	Tamaño del efecto (r)	Cambio
6. El profesor tiene que explicar los conceptos, leyes, hechos, etc., para que los estudiantes los aprendan. (MT)	-5.373 ***	Grande (+0.53)	Desde MT hacia MC
7. El profesor tiene la función de transmitir el conocimiento científico elaborado a lo largo de los siglos. (MT)	-4.018 ***	Mediano (+0.39)	Modificación hacia MC
8. El profesor debe ayudar a los escolares en la construcción de sus propios conocimientos. (MC)	-1.414	Pequeño (+0.14)	Afianzamiento en el MC
9. Cada tema debería explicarse siguiendo un libro de texto o apuntes claros. (MT)	-4.572 ***	Mediano (+0.45)	Desde MT hacia MC
10. Las actividades experimentales en física y química deben utilizarse como aplicación de los conocimientos explicados. (MT)	-3.997 ***	Mediano (+0.39)	Debilitamiento del MT
11. El trabajo de laboratorio debe ser dirigido mediante guiones o procedimientos de resolución. (MT)	-5.571 ***	Grande (+0.55)	Desde MT hacia MC
<i>Global. Categoría sobre «metodología: desarrollo de la enseñanza»</i>	-5.937 ***	$r = +0.58$, grande	
12. Los alumnos deberían participar en el desarrollo de la enseñanza en el aula. (MC)	-1.899	Pequeño (+0.19)	Afianzamiento en el MC
13. El trabajo más productivo para los alumnos es el individual. (MT)	-1.733	Pequeño (+0.17)	Afianzamiento en el MC
14. Trabajar en clase por proyectos o pequeñas investigaciones requiere mucho tiempo para el rendimiento que obtienen los escolares. (MT)	-1.227	Pequeño (+0.12)	Afianzamiento en el MC
15. El profesor debería revisar su método de enseñanza si éste fuera cuestionado por el alumnado. (MC)	-2.415 *	Pequeño (+0.24)	Afianzamiento en el MC
16. Tener en cuenta la diversidad de los alumnos a la hora de impartir las materias de ciencias perjudica a los alumnos más capacitados. (MT)	-2.492 *	Pequeño (+0.24)	Afianzamiento en el MC
17. La adaptación de la enseñanza a la diversidad del aula reduce el nivel de los conocimientos en las materias de ciencias. (MT)	-2.866 **	Pequeño (+0.28)	Afianzamiento en el MC
<i>Global. Categoría sobre «metodología: participación y adaptación al alumno»</i>	-3.986 ***	$r = +0.39$, mediano	

^A MT: proposición vinculada al modelo tradicional; MC: proposición vinculada al modelo constructivista. ^B * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$

Tabla 3. Cambios en las creencias para la dimensión de «metodología», sobre el desarrollo de la enseñanza (ítems 6-11) y sobre la participación y adaptación al alumno (ítems 12-17)

Parece que se supera la consigna ya mencionada sobre el ítem 6 ($r = 0.53$), así como la noción de profesor como transmisor de un conocimiento histórico (ít. 7, $r = 0.39$) aunque aquí con una inseguridad mayor, explicable por los argumentos descritos para los «contenidos». Además, en el posttest no se considera necesario limitar el trabajo de laboratorio al seguimiento de guiones (ít. 11, $r = 0.55$), ni que los apuntes o libros de texto sean indispensables para tratar los temas (ít. 9, $r = 0.45$). En relación a esto último sobre los libros, de forma coherente con el estudio de Solís et al. (2013), los futuros profesores parecen mostrar creencias mucho más cercanas al modelo constructivista que las detectadas en otros estudios con profesores en activo (Contreras, 2009).

Sin embargo, a pesar de los últimos datos y de que el ítem 10 también conlleve un cambio significativo (con $r = 0.39$, mediano), los futuros profesores siguen contemplando el trabajo experimental como *aplicación* de los aprendizajes, posiblemente por la influencia de sus estudios universitarios previos (Madsen, McKagan & Sayre, 2015). En este sentido, el estudio con profesores chilenos de Contreras (2009) ha identificado esta misma tendencia tradicional respecto al trabajo práctico como aplicación (ít. 10), pero de forma aún más acusada.

De forma global, estos cambios en las creencias de los futuros profesores parecen mostrar una correspondencia con el planteamiento indagativo de las asignaturas, basadas en resolver problemas profesionales y diseñar Unidades Didácticas que requieren de una selección variada de fuentes, no limitada a los libros de texto. Además, parece que el haber vivido en primera persona experiencias de aprendizaje a través de la indagación (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016a) ha favorecido que los grupos perciban las ventajas de no aportar todos los datos y pasos a seguir para el trabajo experimental (en el ítem 11, $r = 0.55$ es el segundo mayor del conjunto). Estos últimos resultados se refuerzan con las entrevistas realizadas a los mismos estudiantes en otro trabajo (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016b), donde hemos detectado críticas hacia los clásicos guiones de laboratorio por su escasa contribución al desarrollo de la competencia científica. No obstante, los entrevistados ven complicado articular Unidades Didácticas en torno a la resolución de problemas (en coherencia con lo manifestado en el ítem 10), basándose en sus requerimientos cognitivos o en la extensión de los currículos escolares.

Por último, en relación con la «participación y adaptación al alumno», los ítems sobre la revisión de la metodología (ít. 15, $r = 0.24$) y acerca de que tener en cuenta la diversidad no perjudica el nivel de conocimientos (ítem 16, $r = 0.24$ e ítem 17, $r = 0.28$) muestran cambios estadísticamente significativos en los sujetos, aunque con tamaños del efecto menores que en la subdimensión anterior (Tabla 3). En todo caso, creemos que esta actitud positiva respecto a la diversidad del aula –mucho más optimista que la detectada por Contreras (2009) en docentes en ejercicio– será de utilidad en el futuro profesional de los estudiantes del MFPS.

C. Dimensión de evaluación

Como se observa en la Figura 3, al empezar el proceso formativo se detectan posiciones intermedias acerca de la necesidad de recurrir a los exámenes en la evaluación (ít. 19), y sobre la posibilidad de hacer un seguimiento personalizado de los alumnos (ít. 21). Sin embargo, de acuerdo con la tendencia constructivista, los futuros profesores dan importancia a la finalidad formativa de la evaluación (ít. 18) y a resaltar las actitudes en las calificaciones finales (ít. 20).

La Tabla 4 muestra una evolución significativa en las creencias sobre «evaluación» con $r = 0.43$, que es el segundo mayor tamaño del efecto en las seis subdimensiones. Así, en el postest se detectan creencias constructivistas en 3 de las 4 cuestiones, que conlleven avances estadísticamente significativos (ítem 18, $r = 0.31$, ítem 20, $r = 0.26$ e ítem 21, $r = 0.30$). La única salvedad corresponde a la visión sobre los exámenes, donde se detectan porcentajes similares de estudiantes en ambas tendencias (y también de indecisos).

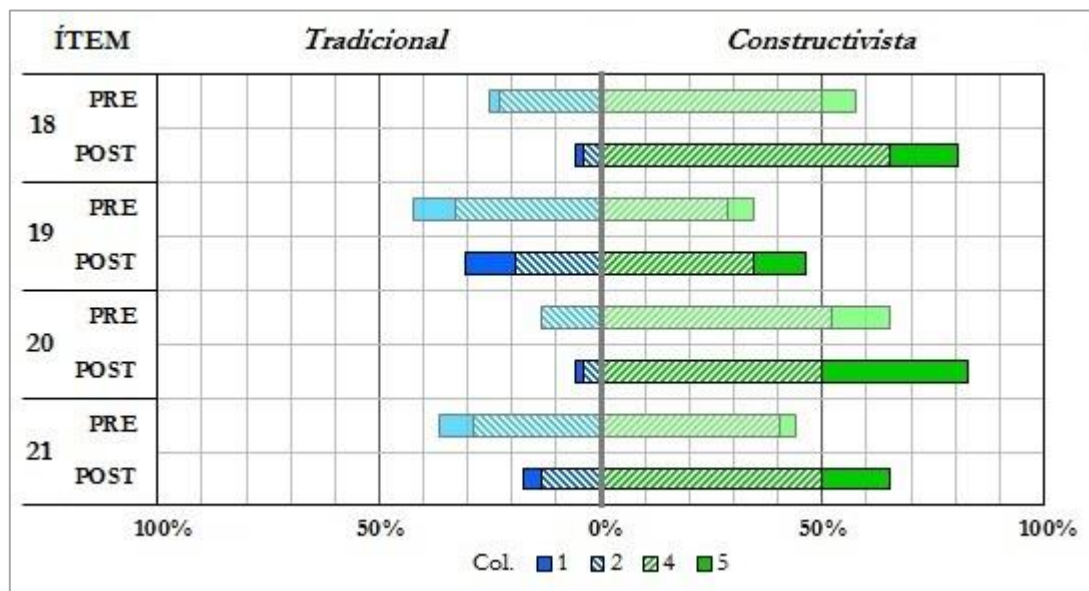


Figura 3. Caracterización de las creencias para la dimensión de «evaluación» en el pretest y el postest. Se indican los % de estudiantes que muestran desacuerdos (1 y 2) y acuerdos (4 y 5) con la posición constructivista

Ítem ^A	Wilcoxon (Z) ^B	Tamaño del efecto (r)	Cambio
18. Uno de los objetivos más importantes de la evaluación es conseguir que cada alumno sea consciente de sus dificultades. (MC)	-3.207 **	Mediano (+0.31)	Afianzamiento en el MC
19. Si no hubiera exámenes los alumnos no estudiarían. (MT)	-1.916	Pequeño (+0.19)	Modificación hacia MC
20. Es imprescindible resaltar la evaluación de las actitudes en la nota final de las asignaturas de física y química. (MC)	-2.618 **	Pequeño (+0.26)	Afianzamiento en el MC
21. En nuestras aulas no es posible hacer un seguimiento diario e individual de cada alumno. (MT)	-3.046 **	Mediano (+0.30)	Modificación hacia MC
Global. Categoría sobre «evaluación»	-4.358 ***	$r = +0.43$, mediano	

^A MT: proposición vinculada al modelo tradicional; MC: proposición vinculada al modelo constructivista. ^B * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$

Tabla 4. Cambios en las creencias para la dimensión de «evaluación»

De forma global, consideramos que el trabajo y la reflexión grupal acerca de la evaluación y la calificación, inicialmente equivalentes para muchos estudiantes, han podido contribuir a esta evolución (ver ítem 18). Además, la variedad de instrumentos (como las rúbricas) e indicadores de evaluación trabajados para observar los aprendizajes individuales, recogidos en el «Modelo para la elaboración de Unidades Didácticas» (Martínez-Aznar et al., 2013), previsiblemente han actuado de catalizadores del cambio (ver ítem 20-21). Cabe recordar que estos indicadores sobre conocimientos, capacidades y actitudes se elaboraron tomando como referencia los programas TIMSS y PISA. Por otra parte, estos resultados son coherentes con los obtenidos en las entrevistas ya mencionadas (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016b), donde estos mismos participantes indicaron la riqueza de indicadores de evaluación contemplados en las actividades escolares propuestas en Didáctica de la Física y Didáctica de la Química.

Como objeto para la reflexión tendríamos el escaso avance en la cuestión sobre los exámenes (ítem 19), que invita a replantear el proceso de evaluación de los aprendizajes en las asignaturas. En todo caso, conviene remarcar que la evaluación es una categoría especialmente sensible en la formación inicial del profesorado, sobre la que cuesta conformar un modelo didáctico puro (Fuentes et al., 2009). En este último estudio sobre el CAP, *p.ej.*, las proposiciones sobre «atención a la consecución de objetivos», acerca de «la objetividad del proceso» o sobre «la evaluación continua», todas ellas aumentaron su aprobación después de la formación. Igualmente, en el estudio de Solís et al. (2013), la proposición tradicional sobre la evaluación como «control» de los objetivos previstos fue aceptada por los participantes tanto antes como después del Módulo Específico del MFPS. Por ello, conviene poner en valor nuestros resultados a pesar del comportamiento en el ítem 19.

D. Dimensión de percepción profesional

En este último caso distinguimos las categorías de «percepción del rendimiento escolar» y «percepción de la formación del profesor». La Figura 4 muestra que desde el pretest, los estudiantes parten de creencias próximas al constructivismo, con la excepción de 3 de las proposiciones. En dos de estos ítems se manifiesta indecisión respecto a las dos tendencias: en el 22, acerca de achacar el éxito escolar a la motivación e inteligencia de los estudiantes, y en el 25, sobre la disponibilidad de recursos del profesor para hacer rendir a alumnos diversos. En el tercer caso (ítem 30), el futuro profesorado afirma que ser graduado en física y química debería ser un requisito para dar clase de estas materias, lo que podría indicar la idea de un conocimiento científico dominante sobre otros tipos de conocimiento. Nuevamente, esto último estaría en concordancia con los resultados obtenidos en la dimensión de «contenidos».

Como se muestra en la Tabla 5, en el posttest los participantes muestran acuerdos en torno a la visión constructivista en todos los ítems salvo el 30. Respecto a la «percepción del rendimiento escolar», cabe destacar 2 proposiciones en las que han evolucionado de forma significativa: el percibir una mayor repercusión de los métodos de enseñanza en el fracaso escolar (ítem 24, $r = 0.26$) y el asumir que un profesor dispone de recursos suficientes para hacer rendir al alumnado (ítem 25, $r = 0.36$), siendo este último ítem el que conlleva el mayor tamaño del efecto en esta dimensión. Estos resultados pueden considerarse como muy positivos, pues parecen indicar un refuerzo de la percepción profesional –necesario antes de enfrentarse a la complejidad de la práctica (Martínez-Aznar et al., 2001)–

y señalar que el futuro profesorado se siente más seguro al terminar las clases de Didáctica. Además, conviene poner en valor estos resultados ya que en otros estudios al comienzo del Máster (Pontes & Poyato, 2016; Poyato, 2016) los participantes señalan a los propios escolares (desinterés, falta de esfuerzo, diversidad) y al contexto (falta de recursos) como responsables principales de las dificultades en la enseñanza, aspectos que parecen en parte superados tras el proceso formativo implementado.

En relación con la «percepción de la formación del profesor», 3 de los 4 ítems (todos menos el 30) muestran avances significativos durante el desarrollo de la propuesta. En el postest ninguno de los estudiantes discrepa de la necesidad de contar con una formación suplementaria a la científica para ejercer en Educación Secundaria (ít. 27, $r = 0.24$). Igualmente, los futuros profesores reconocen la insuficiencia de la formación científica previa en la Universidad (ít. 28, $r = 0.26$), y otorgan una gran importancia a poseer una buena cultura general en otras materias como historia o filosofía (ít. 29, $r = 0.34$). De todo ello parece desprenderse en los participantes una buena predisposición hacia su formación didáctica, por lo que en general podemos considerar la implementación de la propuesta como muy positiva.

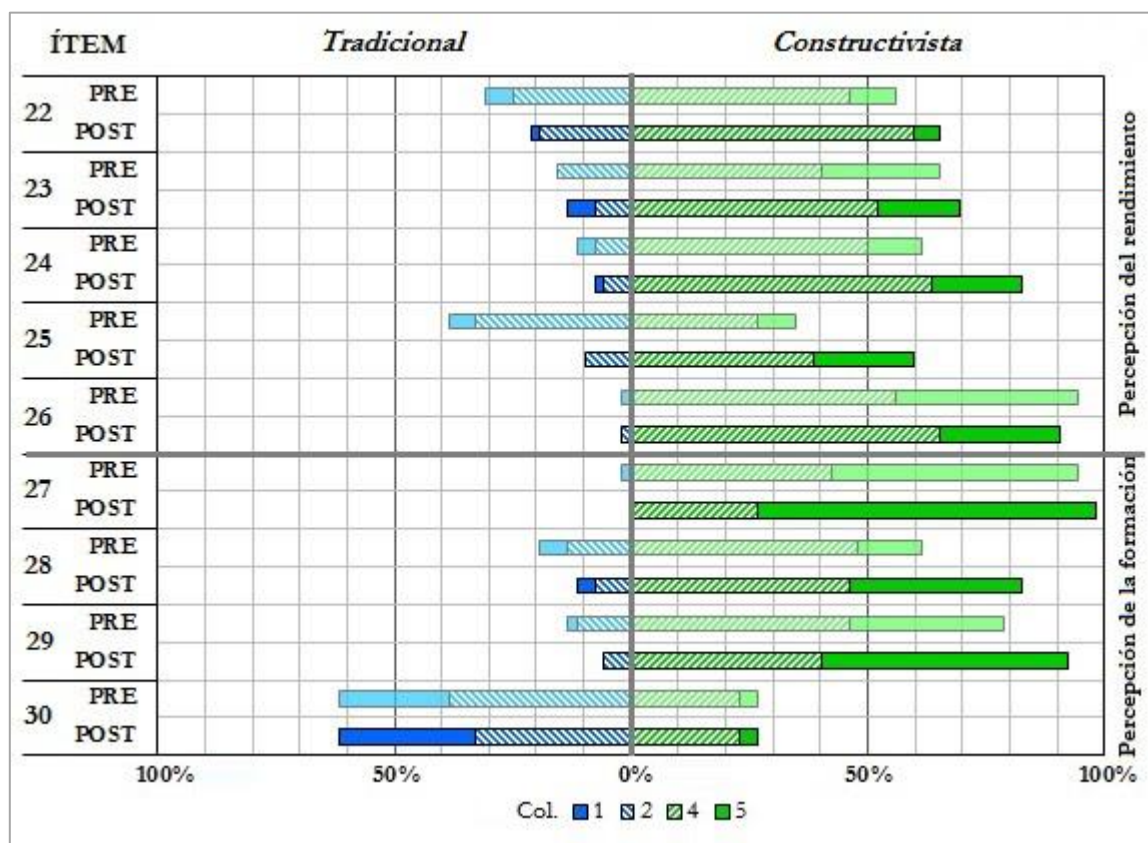


Figura 4. Caracterización de las creencias para la dimensión de «percepción profesional» en el pretest y el postest. Se indican los % de estudiantes que muestran desacuerdos (1 y 2) y acuerdos (4 y 5) con la posición constructivista

Ítem ^A	Wilcoxon (Z) ^B	Tamaño del efecto (r) ^C	Cambio
22. El éxito o fracaso de los alumnos depende básicamente de sus características personales (motivación, inteligencia...). (MT)	-1.206	Pequeño (+0.12)	Modificación hacia MC
23. La procedencia socioeconómica de los alumnos es la principal razón de su rendimiento escolar. (MT)	-0.238	Despreciable (-0.02)	---
24. El mayor fracaso de los alumnos en las asignaturas de ciencias se debe fundamentalmente a que en su enseñanza se utilizan métodos inadecuados. (MC)	-2.654 **	Pequeño (+0.26)	Afianzamiento en el MC
25. Un profesor de ciencias dispone de recursos suficientes para hacer rendir adecuadamente a los alumnos, con independencia de la extracción social o características personales de éstos. (MC)	-3.698 ***	Mediano (+0.36)	Modificación hacia MC
26. La personalidad y las actitudes del profesor de ciencias tienen menor incidencia en el rendimiento de los alumnos que sus conocimientos científicos y didácticos. (MT)	-1.525	Pequeño (-0.15)	Debilitamiento del MC
<i>Global. Categoría sobre «percepción del rendimiento escolar»</i>	-2.530 *	<i>r = +0.25, pequeño</i>	
27. El profesorado de enseñanza secundaria necesita una formación psicopedagógica suplementaria a su formación científica para desempeñar su función. (MC)	-2.414 *	Pequeño (+0.24)	Afianzamiento en el MC
28. La formación científica recibida en la Universidad (Grado/Licenciatura/Ingeniería) es suficiente para desempeñar la labor docente en la enseñanza secundaria. (MT)	-2.615 **	Pequeño (+0.26)	Afianzamiento en el MC
29. Un profesor de física y química debe tener una cultura general amplia (filosofía, historia, literatura, música, etc.). (MC)	-3.421 **	Mediano (+0.34)	Afianzamiento en el MC
30. Para ser profesor de física y química habría que ser graduado/licenciado en estas materias. (MT)	-0.498	Despreciable (-0.05)	---
<i>Global. Categoría sobre «percepción de la formación del profesor»</i>	-3.709 ***	<i>r = +0.36, mediano</i>	

^A MT: proposición vinculada al modelo tradicional; MC: proposición vinculada al modelo constructivista. ^B * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$

^C Avances (+) y retrocesos (-) respecto a la visión constructivista

Tabla 5. Cambios en las creencias para la dimensión de «percepción profesional», sobre el rendimiento escolar (ítems 22-26) y sobre la formación del profesorado (ítems 27-30)

E. Análisis global

Desde un pretest en el que los participantes presentan creencias mayoritariamente *tradicionales* para los Contenidos y el Desarrollo de la enseñanza, *intermedias* en la Percepción del rendimiento escolar y la Evaluación y *constructivistas* sobre la Participación y adaptación al alumno y la Percepción de la formación del profesor, se producen cambios

significativos en las seis subdimensiones globales y en 19 de los 30 ítems. Así, en el postest los futuros profesores se adscriben a la posición constructivista en la mayoría de estas categorías, con la excepción de los Contenidos. Solo encontramos excepciones a esta tendencia positiva general en los ítems 1, 3, 7, 10, 19 y 30.

La ordenación de los tamaños del efecto por dimensiones es: desarrollo de la enseñanza ($r = 0.58$) > evaluación ($r = 0.43$) > participación y adaptación al alumno ($r = 0.39$) > contenidos ($r = 0.37$) > percepción de la formación del profesor ($r = 0.36$) > percepción del rendimiento escolar ($r = 0.25$). Con ello se observa que el mayor impacto de la propuesta corresponde al ámbito metodológico, donde el tamaño del efecto es muy elevado.

Segunda pregunta de investigación

Las creencias presentan un gran componente afectivo (Contreras, 2009; Pajares, 1992) y se encuentran muy condicionadas por los procesos globales de aprendizaje. Por ello, aquí analizamos en qué aspectos específicos del *cambio en las creencias* existen diferencias según la promoción de estudiantes (2014/15 y 2015/16). Se supone que las diferencias se deberán a las particularidades de los estudiantes, y a las interacciones con los formadores y entre ellos mismos.

En la Tabla 1 se recogían las características de los sujetos de ambas promociones: número de estudiantes, edad, titulaciones previas, etc. Aunque el parecido es razonable, la evolución en las creencias es diferente, como se muestra en la Tabla 6. En ella, y siguiendo el criterio señalado en el apartado de Metodología, se incluyen los 9 ítems donde la diferencia entre los valores de los tamaños del efecto (r) para ambas promociones es igual o superior a 0.25 (Field, 2009; Pallant, 2010). Si nos fijamos, las creencias recogidas en esta última tabla sobre contenidos o metodología podrían considerarse como «sustantivas» o «de primer orden» de la cultura escolar tradicional (Fernández-González et al., 2001; Porlán et al., 2010). En los otros 21 ítems se detecta una cierta similitud entre ambas promociones.

Entre las creencias de la Tabla 6 aparecen el uso de los libros de texto (ít. 9), de actividades de corte constructivista (ít. 14) y el trabajo con las ideas previas de los alumnos (ít. 5), que también son consideradas «proposiciones significativas» por Contreras (2009) para clasificar a los docentes en perfiles. En los dos últimos ítems se obtienen efectos muy diferentes en ambas promociones de máster. En relación al ítem 14, donde se detecta una evolución hacia planteamientos constructivistas (grupo c1) y un retroceso no significativo (grupo c2), otros autores como Hung y Loyens (2012) han sugerido que la reacción a las actividades indagativas resulta muy dependiente de las características e interacciones entre los aprendices. Por ello, teniendo en cuenta que las asignaturas han ofrecido vivencias de aprendizaje a través de la indagación (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016a), la diferencia detectada puede resultar justificable. Por otra parte, la comparación entre ambas promociones para el ítem 5 (la noción de ideas de los alumnos como errores) resulta especialmente relevante. Esta creencia tradicional se debilita de forma significativa en el primer grupo y se refuerza en el segundo. Así, y en línea con lo ya discutido para la primera pregunta, cabe decir que incluso los profesores en ejercicio que tienden a explorar las ideas previas, a menudo lo hacen para sustituirlas por un *conocimiento verdadero* (Levitt, 2002). Por ello, los resultados obtenidos para este ítem son los esperables.

Ítem ^A	Pretest media (σ)	Posttest media (σ)	Wilcoxon (Z) ^B	Tamaño efecto (r) ^C
Dimensión de «contenidos»				
3. Los contenidos escolares de física y química deben ser próximos al conocimiento científico. (MT)	c1: 1.85 (0.66) c2: 1.80 (0.65)	c1: 2.37 (1.11) c2: 1.88 (0.83)	c1: -2.329 * c2: -0.266	c1: +0.32 c2: +0.04
5. Las ideas de los alumnos sobre los conceptos de ciencias son errores que el profesor debe eliminar. (MT)	c1: 3.78 (0.75) c2: 3.28 (0.84)	c1: 4.30 (0.67) c2: 3.04 (1.14)	c1: -2.493 * c2: -0.936	c1: +0.34 c2: -0.13
Dimensión de «metodología: desarrollo de la enseñanza»				
9. Cada tema debería explicarse siguiendo un libro de texto o apuntes claros. (MT)	c1: 2.67 (1.00) c2: 2.68 (0.95)	c1: 4.15 (0.60) c2: 3.36 (1.15)	c1: -4.150 *** c2: -2.168 *	c1: +0.56 c2: +0.31
10. Las actividades experimentales en física y química deben utilizarse como aplicación de los conocimientos explicados. (MT)	c1: 1.41 (0.69) c2: 1.40 (0.58)	c1: 2.89 (1.34) c2: 1.72 (1.10)	c1: -3.624 *** c2: -1.410	c1: +0.49 c2: +0.20
Dimensión de «metodología: participación y adaptación al alumno»				
14. Trabajar en clase por proyectos o pequeñas investigaciones requiere mucho tiempo para el rendimiento que obtienen los escolares. (MT)	c1: 3.26 (0.98) c2: 3.76 (0.66)	c1: 3.89 (0.75) c2: 3.48 (0.96)	c1: -2.496 * c2: -1.941	c1: +0.34 c2: -0.27
Dimensión de «percepción del rendimiento escolar»				
24. El mayor fracaso de los alumnos en las asignaturas de ciencias se debe fundamentalmente a que en su enseñanza se utilizan métodos inadecuados. (MC)	c1: 3.63 (0.84) c2: 3.52 (1.05)	c1: 4.19 (0.48) c2: 3.64 (1.04)	c1: -3.095 ** c2: -0.584	c1: +0.42 c2: +0.08
Dimensión de «percepción de la formación del profesor»				
28. La formación científica recibida en la Universidad (Grado/Licenciatura/Ingeniería) es suficiente para desempeñar la labor docente en la enseñanza secundaria. (MT)	c1: 3.48 (1.12) c2: 3.52 (1.05)	c1: 4.26 (1.06) c2: 3.80 (1.00)	c1: -2.686 ** c2: -0.881	c1: +0.37 c2: +0.12
29. Un profesor de física y química debe tener una cultura general amplia (filosofía, historia, literatura, música, etc.). (MC)	c1: 4.15 (1.03) c2: 3.76 (1.01)	c1: 4.41 (0.75) c2: 4.36 (0.86)	c1: -1.427 c2: -3.500 ***	c1: +0.19 c2: +0.49
30. Para ser profesor de física y química habría que ser graduado/licenciado en estas materias. (MT)	c1: 2.44 (1.42) c2: 2.48 (0.92)	c1: 2.15 (0.99) c2: 2.68 (1.44)	c1: -1.443 c2: -0.661	c1: -0.20 c2: +0.09

^A MT: proposición vinculada al modelo tradicional; MC: proposición vinculada al modelo constructivista. ^B * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$

^C Avances (+) y retrocesos (-) respecto a la visión constructivista

Tabla 6. Puntuaciones medias en la escala de Likert, desviaciones típicas (σ) y estadísticos en los ítems con una diferencia de tamaños del efecto igual o superior a 0.25. «c1» corresponde a 2014/15 y «c2» a 2015/16. Los valores 1 y 2 reflejan desacuerdos, y los valores 4 y 5 acuerdos, pero siempre referidos a la visión constructivista

También encontramos comportamientos diferentes entre las promociones en varias creencias que suelen conformar el pensamiento tradicional del profesorado de ciencias (Contreras, 2009; Porlán et al., 2010): la necesidad de aproximar los contenidos escolares al conocimiento científico (ít. 3) y la utilización del trabajo práctico como comprobación de contenidos explicados previamente (ít. 10). Finalmente, la lista la completan un ítem

acerca de la percepción del rendimiento escolar y tres sobre la formación necesaria para un profesor.

Un aspecto a remarcar es que en 7 de estas 9 proposiciones (incluyendo las cinco sobre «contenidos» y «metodología») el impacto de la propuesta resulta más favorable a la misma promoción 2014/15 (c1). Este hecho da una idea de cómo las peculiaridades de los estudiantes, las interacciones entre ellos y con los formadores, los contextos específicos de aprendizaje, etc., resultan factores fundamentales en los procesos formativos, y máxime cuando se trata de superar creencias muy arraigadas en la comunidad escolar. Además, no debemos obviar el *aspecto emocional* en la formación del profesorado (Costillo et al., 2013; Shoffner, 2009), que se refuerza al solicitar a los futuros profesores que trabajen en *grupos cooperativos* y tomen parte en actividades escolares indagativas (Martínez-Aznar et al., 2017), generalmente novedosas para la mayoría. Por ello, aspectos como la transposición didáctica, el trabajo con las ideas previas, el aprendizaje a través de problemas e investigaciones, etc., reciben una acogida mucho más favorable en uno de los dos grupos. Igualmente, esta misma promoción (c1) se muestra más crítica con el efecto de las metodologías de enseñanza en el rendimiento escolar (ít. 24), y reconoce en mayor medida la insuficiencia de la formación universitaria previa (ít. 28).

Los casos particulares donde el efecto es favorable a la segunda promoción son los ítems 29 y 30, aunque para éste último, el resultado puede justificarse. La visión más crítica que ha podido generarse en la promoción 2014/15 respecto al modelo didáctico tradicional, probablemente les lleve a ser más conscientes de la complejidad de la ciencia escolar, y a otorgar una mayor importancia relativa al aprendizaje de contenidos avanzados sobre física y química.

CONCLUSIONES

Del análisis realizado se desprenden las siguientes conclusiones:

Primera pregunta de investigación

Al comienzo del proceso formativo se detecta una clara incoherencia en los modelos didácticos de los futuros profesores. Estos defienden la participación del alumnado a través de actividades de corte constructivista o la reflexión permanente sobre la metodología docente, pero a su vez asumen un papel transmisor del conocimiento del profesor, que dirija el trabajo de los estudiantes con pautas y materiales cerrados, y con contenidos próximos al conocimiento científico.

Al final del proceso de enseñanza-aprendizaje se comprueba una evolución hacia planteamientos constructivistas, estadísticamente significativa en 19 de los 30 ítems. Se observa la repercusión de la propuesta en creencias como la importancia de trabajar con las ideas de los alumnos, en rebatir que el profesor deba «explicar para que el alumnado aprenda» o en cuestionar el trabajo de laboratorio totalmente dirigido.

Sin embargo, en 6 de las proposiciones los estudiantes no muestran acuerdos finales con la tendencia constructivista. Cuatro guardan cierta relación entre sí: el considerar el conocimiento científico como forma de pensamiento verdadera, la necesidad de aproximar los contenidos escolares a este conocimiento, que los futuros profesores sean graduados en estas materias y una visión del profesor como transmisor de un conocimiento elaborado a lo largo de los siglos. Quizás, estas proposiciones constituyen una «amalgama» de

creencias que evolucionan conjuntamente (Porlán et al., 2011) y, a modo de hipótesis, los cambios en una parte de ellas podrían determinar cambios en las otras.

Como era de esperar, no se observa la adscripción de los participantes a modelos didácticos puros en ningún momento del proceso formativo. Pero en todo caso, la propuesta ha favorecido una evolución hacia planteamientos constructivistas en las seis subdimensiones globales. Ello nos anima a pensar que en el futuro los estudiantes del máster estarán en disposición de desarrollar metodologías indagativas que, como sugieren las instituciones internacionales (Comisión Europea, 2007), ayudarán a mejorar la calidad de la enseñanza de las ciencias y su aprendizaje (Martínez-Chico et al., 2014; Pilitsis & Duncan, 2012).

Segunda pregunta de investigación

Para un conjunto de creencias sobre contenidos o metodología (identificadas como características de la *tradición* escolar), y en las proposiciones sobre la formación del profesor, se comprueba la dependencia del impacto de la propuesta según la promoción de futuros profesores. Así, en 9 de los 30 ítems se detectan diferencias sustantivas.

Cabe destacar que las diferencias en el impacto de la propuesta formativa son favorables a la primera promoción en 7 de estos ítems, algo explicable en términos del contexto de aula que se genera, y que estaría muy relacionado con las emociones que se derivan del mismo (Costillo et al., 2013).

Implicaciones para el futuro

Aunque el efecto global de la propuesta se puede considerar positivo (sobre todo en la dimensión de «metodología»), no obstante, creemos conveniente introducir mejoras en el programa formativo:

- La existencia de una «amalgama» de creencias en desacuerdo con la posición constructivista parece indicar que el trabajo realizado en la sesión 4 del programa (Martínez-Aznar et al., 2017) sobre la ciencia escolar y la transposición didáctica no ha sido suficiente. Además, y en coherencia con los resultados de otros estudios (Benarroch et al., 2013), la visión asumida por los participantes sobre el conocimiento científico sugiere la necesidad de trabajar expresamente la *naturaleza de la ciencia*, en dicha sesión y en las actividades incluidas en las ejemplificaciones de Unidades Didácticas. La propuesta, dentro de sus límites temporales, es perfectamente compatible con un trabajo más extenso sobre la historia de la ciencia (Acevedo, García-Carmona & Aragón, 2016; Vázquez & Manassero, 2013), el análisis de problemas socio-científicos (García-Carmona, 2014) o el acompañamiento de las actividades indagativas con tareas metarreflexivas (García-Carmona, 2012). En todo caso, en nuestra organización de las asignaturas del MFPS la naturaleza de la ciencia se aborda expresamente en la materia de «Investigación, innovación y diseño curricular», lo que anima a potenciar más la coordinación entre formadores.

- Aunque una mayoría de los futuros profesores asume la conveniencia de trabajar por pequeñas investigaciones no dirigidas, al término de las asignaturas éstos siguen defendiendo el carácter aplicativo del trabajo experimental, hecho que se corrobora en las entrevistas realizadas en un trabajo complementario (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016b). Parece que la tradición de los estudios previos pesa mucho (Madsen et al., 2015) por lo que convendría revisar las metodologías desarrolladas con los profesores de las facultades de física y química que imparten los «Complementos de formación disciplinar».

- En relación a la importancia adjudicada a los exámenes, el comportamiento no ha sido el esperado, lo que lleva a reflexionar sobre la propia evaluación de las asignaturas de Didáctica. Quizás se podría sustituir el ejercicio final por sesiones de tutoría, durante el proceso formativo, para recoger las reflexiones personales sobre el aprendizaje en las distintas tareas del curso.
- En cuanto a la influencia de los contextos de aula sobre el cambio en las creencias y su relación con las emociones, se podrían promover reflexiones y debates entre los participantes a través de blogs y foros en el Campus Virtual (Shoffner, 2009), para explicitar sus percepciones y permitir que los formadores actúen en consecuencia.

En cualquier caso, los resultados de esta investigación muestran la dificultad para modificar *algunas* creencias profesionales desde la formación inicial del profesorado, en línea con otros estudios (Fives et al., 2015; Wideen et al., 1998). Por ello, creemos que es necesario continuar trabajando en esta dirección en el Practicum del MFPS, buscando la complicidad de los mentores en los centros escolares. De esta forma, se reforzaría la percepción de relevancia de los métodos de enseñanza en el rendimiento y motivación del alumnado, y se podría favorecer una mejor imagen de las particularidades de la ciencia escolar. Además, diversas investigaciones han demostrado que el conocimiento práctico funcional del aula es un factor clave que determina la relación entre las creencias y la conducta docente (Bryan, 2012; Mellado, 1998), y por ello, un trabajo coordinado entre la universidad y los centros de enseñanza resulta fundamental en el Practicum.

Finalmente, el trabajo realizado sugiere líneas de investigación para el futuro. Así, cabría incorporar nuevos aspectos del pensamiento docente, la visión de la ciencia de los participantes –por su relación con los modelos didácticos (Fernández-González et al., 2001)–, las unidades didácticas desarrolladas por los estudiantes y otros instrumentos de tipo cualitativo para recabar información. Además, los datos obtenidos permitirían caracterizar perfiles del futuro profesorado en base a sus creencias, y obtener clusters de proposiciones más o menos relacionadas. Este es un aspecto de especial importancia, pues el carácter aislado o conectado de las creencias es una temática donde se detecta un cierto debate (Chen et al., 2015; Contreras, 2009; Van Driel et al., 2007). De esta forma, el estudio de estos aspectos, combinado con la investigación de un periodo de Practicum orientado a la construcción de Conocimiento Didáctico del Contenido, permitirían contribuir a una necesaria renovación de la enseñanza.

REFERENCIAS

- Acevedo, J.A., García-Carmona, A. & Aragón, M.M. (2016). Un caso de Historia de la Ciencia para aprender Naturaleza de la Ciencia: Semmelweis y la fiebre puerperal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 408–422.
- Benarroch, A., Cepero, S. & Perales, F.J. (2013). Implementación del Máster de Profesorado de Secundaria: Aspectos metodológicos y resultados de su evaluación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 594–615.
- Bryan, L.A. (2012). Research on Science Teacher Beliefs. En B.J. Fraser, K.G. Tobin & C.J. McRobbie (Eds), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 477–495). Dordrecht: Springer.
- Bryan, L.A. & Abell, S.K. (1999). Development of Professional Knowledge in Learning to Teach Elementary Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(2), 121–139.
- Chen, J.A., Morris, D.B. & Mansour, N. (2015). Science teachers' beliefs: Perceptions of efficacy and the nature of scientific knowledge and knowing. En H. Fives & M.G. Gill (Eds.), *International Handbook of Research on Teachers' Beliefs* (pp. 370–386). New York: Routledge.
- Cochran-Smith, M. (2001). The outcomes question in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 17(5), 527–546.
- Comisión Europea (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe* (“Informe Rocard”). Recuperado de: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf
- Contreras, S.A. (2009). Creencias curriculares y creencias de actuación curricular de los profesores de ciencias chilenos. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), 505–526.
- Costillo, E., Borrachero, A.B., Brígido, M. & Mellado, V. (2013). Las emociones sobre la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y las matemáticas de futuros profesores de Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 514–532.
- Fernández-González, J., Elortegui, N., Rodríguez-García, J.F. & Moreno-Jiménez, T. (2001). *Modelos Didácticos y Enseñanza de las Ciencias*. Tenerife: Centro de la Cultura Popular Canaria.
- Fernández-Nistal, M.T., Pérez-Ibarra, R.E., Peña, S.H. & Mercado, S.M. (2011). Concepciones sobre la enseñanza del profesorado y sus actuaciones en clases de ciencias naturales de educación secundaria. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 16, 571–596.
- Field A. (2009). *Discovering Statistics Using SPSS*, 3rd ed. London: SAGE.
- Fives, H., Lacatena, N. & Gerard, L. (2015). Teachers' Beliefs about Teaching (and Learning). En H. Fives & M.G. Gill (Eds), *International Handbook of Research on Teachers' Beliefs* (pp. 249–265). New York: Routledge.
- Fuentes, M.J., García-Barros, S. & Martínez-Losada, C. (2009). ¿En qué medida cambias las ideas de los futuros docentes de Secundaria sobre qué y cómo enseñar, después de un proceso de formación? *Revista de Educación*, 349, 269–294.
- García-Carmona, A. (2012). Cómo enseñar Naturaleza de la Ciencia (NDC) a través de experiencias escolares de investigación científica. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 72, 55–63.

- García-Carmona, A. (2014). Naturaleza de la ciencia en noticias científicas de la prensa: análisis del contenido y potencialidades didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 493–509.
- Hamed, S., Rivero, A. & Martín del Pozo, R. (2016). El cambio en las concepciones de los futuros maestros sobre la metodología de enseñanza de las ciencias en un programa formativo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 476–492.
- Hung, W. & Loyens, S.M.M. (2012). Global Development of Problem-based Learning: Adoption, Adaptation, and Advancement. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 6(1), 4–9.
- Jiménez-Tenorio, N. & Oliva, J.M. (2016). Análisis reflexivo de profesores de ciencias de secundaria en formación inicial en torno a diferentes secuencias didácticas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 423–439.
- Jisu, H., Delorme, D.E. & Reid, L.N. (2006). Perceived Third-Person Effects and Consumer Attitudes on Prevetting and Banning DTC Advertising. *The Journal of Consumer Affairs*, 40(1), 90–116.
- Kang, N-H. & Wallace, C.S. (2004). Secondary Science Teachers' Use of Laboratory Activities: Linking Epistemological Beliefs, Goals, and Practices. *Science Education*, 89(1), 140–165.
- Levitt, K. (2002). An Analysis of Elementary Teachers' Beliefs Regarding the Teaching and Learning of Science. *Science Education*, 86(1), 1–22.
- Madsen, A., McKagan, S.B. & Sayre, E.C. (2015). How physics instruction impacts students' beliefs about learning physics: A meta-analysis of 24 studies. *Physical Review, Physics Education Research*, 11(1), 010115.
- Martín del Pozo, R. & De-Juanas, A. (2013). La valoración de los maestros sobre la utilización didáctica de las ideas de los alumnos. *Revista Complutense de Educación*, 24(2), 267–285.
- Martínez-Aznar, M.M., Martín del Pozo, R., Rodrigo, M., Varela, P., Fernández-Lozano, M.P. & Guerrero-Serón, A. (2001). ¿Qué pensamiento profesional y curricular tienen los futuros profesores de ciencias de Secundaria? *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 67–87.
- Martínez-Aznar, M.M., Rodríguez-Arteche, I. & Gómez-Lesarri, P. (2017). La resolución de problemas profesionales como referente para la formación inicial del profesorado de física y química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 162–180.
- Martínez-Aznar, M.M., Varela, P., Ezquerro, A. & Sotres, F. (2013). Las Unidades Didácticas escolares, basadas en competencias, como eje estructurante de la Didáctica de la Física y Didáctica de la Química para la formación inicial de profesores de secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 616–629.
- Martínez-Chico, M., Jiménez-Liso, M.R. & López-Gay, R. (2014). La indagación en las propuestas de formación inicial de maestros: Análisis de entrevistas a los formadores de Didáctica de las Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 591–608.
- Mellado, V. (1998). The Classroom Practice of Preservice Teachers and Their Conceptions of Teaching and Learning Science. *Science Education*, 82(2), 197–214.
- Mellado, V., Conde, M.C., Brígido, M., Costillo, E., Ruiz, C., Bermejo, M.L. & Fajardo, M.I. (2010). The Educational Change in Science Teachers. En A.D Henshall y B.C. Fontanez (Eds.), *Educational Change* (pp. 61–83). New York: Nova Science Publishers.
- Morales, P., Urosa, B. & Blanco A. (2003). *Construcción de escalas de actitudes “tipo Likert”*: Una guía práctica. Madrid: La Muralla.
- Pajares, M. (1992). Teachers' Beliefs and Educational Research: Cleaning Up a Messy Construct. *Review of Educational Research*, 62(3), 307–332.

- Pallant, J. (2010). *SPSS Survival Manual: A Step by Step Guide to Data Analysis Using IBM SPSS*, 4th ed. Buckingham: Open University Press.
- Pilitsis, V. & Duncan, R.G. (2012). Changes in Belief Orientations of Preservice Teachers and Their Relation to Inquiry Activities. *Journal of Science Teacher Education*, 23(8), 909–936.
- Pontes, A., Poyato, F.J. & Oliva, J.M. (2015). Concepciones sobre el aprendizaje en estudiantes del máster de profesorado de educación secundaria del área de ciencia y tecnología. *Profesorado, Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 19(2), 225–243.
- Pontes, A. & Poyato, F.J. (2016). Análisis de las concepciones del profesorado de secundaria sobre la enseñanza de las ciencias durante el proceso de formación inicial. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(3), 705–724.
- Porlán, R., Rivero, A. & Martín del Pozo, R. (1998). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores, II: Estudios empíricos y conclusiones. *Enseñanza de las Ciencias* 16(2), 271–288.
- Porlán, R., Martín del Pozo, R., Rivero, A., Harres, J., Azcárate, P. & Pizzato M. (2010). El cambio del profesorado de ciencias I: Marco teórico y formativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 31–46.
- Porlán, R., Martín del Pozo, R., Rivero, A., Harres, J., Azcárate, P. & Pizzato, M. (2011). El cambio del profesorado de ciencias II: Itinerarios de progresión y obstáculos en estudiantes de magisterio. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(3), 353–370.
- Poyato, F.J. (2016). *Concepciones y motivaciones sobre la profesión docente en la formación inicial del profesorado de ciencias de enseñanza secundaria*. Tesis Doctoral, Universidad de Córdoba. Recuperado de: <http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/13839>
- Pozo, J.I., Scheuer, N., Mateos, M. & Pérez-Echeverría, M.P. (2006). Las teorías implícitas sobre el aprendizaje y la enseñanza. En J.I. Pozo et al. (Eds.), *Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje. Las concepciones de profesores y alumnos* (pp. 95–132). Barcelona: Graó.
- Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (2016a). Introducing Inquiry-Based Methodologies during Initial Secondary Education Teacher Training Using an Open-Ended Problem about Chemical Change. *Journal of Chemical Education*, 93(9), 1528–1535.
- Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (2016b). Indagación y modelos didácticos: La reflexión de cuatro profesores de física y química en formación inicial. *Campo Abierto*, 35(1), 145–160.
- Shoffner, M. (2009). The place of the personal: Exploring the affective domain through reflection in teacher preparation. *Teaching and Teacher Education*, 25(6), 783–789.
- Shulman, L.S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Siddiquee, M.N. & Ikeda, H. (2013). Science Teacher's Beliefs on Teaching and Learning at Secondary Schools in Bangladesh. *GSE Journal of Education*, 37–63.
- Solís, E., Porlán, R. & Rivero, A. (2012). ¿Cómo representar el conocimiento curricular de los profesores de ciencias y su evolución? *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 9–30.
- Solís, E., Martín del Pozo, R., Rivero, A. & Porlán, R. (2013). Expectativas y concepciones de los estudiantes del MAES en la especialidad de Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 496–513.
- Tan, A.L. & Towndrow, P.A. (2009). Catalyzing student-teacher interactions and teacher learning in science practical formative assessment with digital video technology. *Teaching and Teacher Education*, 25(1), 61–67.

- Tsai, C.C. (2006). Reinterpreting and reconstructing science: Teachers' view changes toward the nature of science by courses of science education. *Teaching and Teacher Education*, 22(3), 363–375.
- Van Driel, J.H., Bulte, A.M.W. & Verloop, N. (2007). The relationships between teachers' general beliefs about teaching and learning and their domain specific curricular beliefs. *Learning and Instruction*, 17(2), 156–171.
- Vázquez, A. & Manassero, M.A. (2013). La comprensión de un aspecto de la naturaleza de ciencia y tecnología: Una experiencia innovadora para profesores en formación inicial. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 630–648.
- Wideen, M., Mayer-Smith, J. & Moon, B. (1998). A Critical Analysis of the Research on Learning to Teach: Making the Case for an Ecological Perspective on Inquiry. *Review of Educational Research*, 68(2), 130–178.
- Woolley, S.L., Benjamin, W-J. & Woolley, A.W. (2004). Construct Validity of a Self-Report Measure of Teacher Beliefs Related to Constructivist and Traditional Approaches to Teaching and Learning. *Educational and Psychological Measurement*, 64(2), 319–331.

Artículo 6

**Indagación y modelos didácticos:
La reflexión de cuatro profesores
de física y química en formación inicial**

INDAGACIÓN Y MODELOS DIDÁCTICOS: LA REFLEXIÓN DE CUATRO PROFESORES DE FÍSICA Y QUÍMICA EN FORMACIÓN INICIAL

Inquiry and Teaching Models: Reflection of Four Preservice Physics and Chemistry Teachers

Iñigo Rodríguez Arteche*, M^a Mercedes Martínez Aznar*

*Universidad Complutense de Madrid

Correspondencia:

Mail: inigo.rodriguez.a@gmail.com

Recibido: 01/09/2016; Aceptado: 01/07/2016

Resumen

Este estudio de caso corresponde a la formación inicial de profesores de física y química, desde un enfoque indagativo centrado en la resolución de problemas profesionales que pretende favorecer la elaboración de modelos didácticos constructivistas. En concreto, para abordar el diseño de actividades escolares se introdujo la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI). Finalizado el proceso formativo, se realizaron entrevistas semiestructuradas para profundizar en la visión de los cuatro participantes sobre la aplicabilidad de la MRPI. El análisis de las respuestas mediante ATLAS.ti permitió identificar sus percepciones sobre las fortalezas y debilidades de dicha metodología indagativa, y su relación con los modelos didácticos previamente asignados, aspectos que constituyen los objetivos del estudio. Se identificó un mayor número de reflexiones favorables hacia la MRPI, y se comprobó cómo la asignación a un modelo constructivista parece ser condición necesaria para la aplicabilidad de la indagación en Educación Secundaria.

Palabras clave: Formación inicial de profesores de física y química; indagación; modelos didácticos; entrevistas.

Abstract

This case-study corresponds to an initial teacher training proposal which is based on the resolution of professional problems, with the intention of promoting constructivist teaching models. In order to deal with the design of school activities, the Methodology of Problem-Solving as an Investigation (MPSI) was introduced, and at the end of the process semi-structured interviews were conducted to analyze the students' views on its future applicability. This analysis by means of ATLAS.ti allowed for answering the two research questions of this work, which consist of identifying the presumed strengths and weaknesses of the MPSI, and their relation with the previously assigned teaching models. A greater number of «strengths» was identified. Moreover, the closeness to a constructivist model seemed to be necessary requirement for a later use of inquiry in Secondary Education.

Keywords: Preservice physics and chemistry teachers; inquiry; teaching models; interviews.

CONTEXTO Y MARCO TEÓRICO

A día de hoy las metodologías de carácter indagativo se consideran muy beneficiosas para mejorar el aprendizaje escolar de las ciencias, promover una visión actual de la actividad científica y aumentar la motivación de los estudiantes hacia estas materias (Comisión Europea, 2007). La *indagación* (inquiry) engloba metodologías de enseñanza que comparten el estar centradas en el alumno, y el concebir que el aprendizaje se construye individualmente y se reconstruye socialmente por interacción con el entorno (Lehman, George, Buchanan y Rush, 2006), para superar *retos* no abordables a través de explicaciones o lecturas de libros de texto. Además, en coherencia con todo ello, estos métodos promueven el aprendizaje en grupos cooperativos (English y Kitsantas, 2013).

Dentro de las metodologías indagativas se incluye la *resolución de problemas* verdaderos y contextualizados (Walker y Leary, 2009; Jiménez-Tenorio y Oliva, 2016), un enfoque («Problem-Based Learning», PBL) cuyo uso se está extendiendo en diversos estudios universitarios, y de forma particular en los educativos. Sin embargo, su utilización en otros niveles está siendo menor, quizás debido a las dificultades que supone su implementación para el profesor (los alumnos marcan las pautas y él actúa como guía), y por las resistencias que pueden presentarse en los estudiantes, al suponer más trabajo y responsabilidad (Prince y Felder, 2007). Además, la reducida implementación de las metodologías indagativas en el aula (y del PBL en particular) se relaciona con toda una serie de *creencias* de los profesores al respecto (Roehrig y Luft, 2004), como el suponer que complican la gestión del aula, que son incompatibles con la extensión de los currículos o considerar que solo se adecúan a los alumnos de altas capacidades.

Asimismo, en la literatura sobre esta temática se detectan varios debates de interés (Couso, 2014). Por una parte, existe una cierta asociación entre la indagación y la enseñanza por descubrimiento, vinculación incorrecta ya que el trabajo de *andamiaje* por parte del profesor resulta muy relevante (Hmelo-Silver, Duncan y Chinn, 2007). Por otra parte, se viene reclamando que la utilización de estos métodos no responda a una simple moda de “indagar por indagar”, sino que se trabajen de forma expresa capacidades como la representación cualitativa, la modelización (Windschitl, Thompson y Braaten, 2008) y la promoción de actitudes favorables hacia la Ciencia.

Creemos que teniendo presentes las características antes descritas, la indagación debe ser parte activa de los programas de formación inicial del profesorado, por las ventajas que puede suponer para la adquisición de la competencia científica por parte de los escolares, y como forma de aumentar su curiosidad hacia estas materias. En este sentido, recientemente se han difundido varias experiencias para introducir la indagación en la formación inicial de profesores de ciencias de primaria (Martínez-Aznar y Varela, 2009; Martínez-Chico, Jiménez-Liso y López-Gay, 2015) y secundaria (Crujeiras y Jiménez-Aleixandre, 2015; Rodríguez-Arteche y Martínez-Aznar, en prensa).

El presente trabajo forma parte de una investigación más amplia en el contexto del Máster en Formación del Profesorado de Educación Secundaria (MFPS). Así, desde las asignaturas de Didáctica de la Física y Didáctica de la Química de la UCM se pretende favorecer la formalización de *modelos didácticos* constructivistas, que en contraposición al modelo tradicional (o transmisor-receptor) conciben el aprendizaje como un proceso que establece relaciones con las ideas previas de los estudiantes (Fernández, Elortegui, Rodríguez y Moreno, 2001; Martínez-Aznar et al., 2001).

Estas asignaturas se plantean a partir de la resolución de problemas profesionales relacionados con la elaboración de Unidades Didácticas –UD– (Martínez-Aznar, Rodríguez-Arteche y Gómez-Lesarri, en prensa), como por ejemplo, “¿Cómo se pueden diseñar e implementar las actividades de una UD?” De esta forma, durante la búsqueda de soluciones los profesores de didáctica introducen una metodología

indagativa: la «Metodología de Resolución de Problemas como Investigación» (MRPI), un método que ha demostrado su utilidad y aplicabilidad en diferentes disciplinas y niveles educativos (Ibáñez y Martínez-Aznar, 2007; Martínez-Aznar y Varela, 2009; Pavón y Martínez-Aznar, 2014).

La MRPI consta de 5 fases que contemplan las siguientes dimensiones de la competencia científica: 1. Análisis cualitativo del problema (que supone abordar los conceptos y modelos implicados, y reformular el problema en términos operativos); 2. Emisión de hipótesis; 3. Diseño de estrategias de resolución (incluyendo la identificación de las variables independientes, dependientes y de control); 4. Desarrollo y resolución del problema (donde la verbalización de los procesos cobra especial importancia); 5. Análisis de resultados. Como se observa en la Figura 1, esta metodología permite resolver *problemas abiertos* (sin datos y con soluciones variadas), tanto de naturaleza experimental como de “lápiz y papel”, siguiendo procesos cíclicos semejantes a los de la actividad científica y trabajando en grupos cooperativos.

Ahora bien, ¿cómo se introduce la MRPI? La premisa formativa es que, para favorecer la reflexión de los estudiantes sobre sus características (y en definitiva, promover su uso futuro en Educación Secundaria), los estudiantes deben «vivir experiencias de aprendizaje» mediante esta metodología (Pilitsis y Duncan, 2012). Para ello, se presentan secuencias de problemas abiertos para abordar los *Cambios físicos y químicos* y la *Óptica* en la ESO y el Bachillerato (Rodríguez-Arteche y Martínez-Aznar, en prensa; Martínez-Aznar et al., en prensa), y posibilitar la construcción del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) del futuro profesorado (Abell, 2008). Se requiere que los estudiantes del MFPS resuelvan estos problemas escolares, bajo la orientación de los formadores, y finalmente realicen informes sobre los mismos. En este contexto, el presente artículo pretende mostrar un análisis de hasta qué punto los futuros docentes asumen la conveniencia de utilizar la MRPI en Educación Secundaria, y examinar la dependencia de su satisfacción hacia esta metodología con respecto a las creencias profesionales.

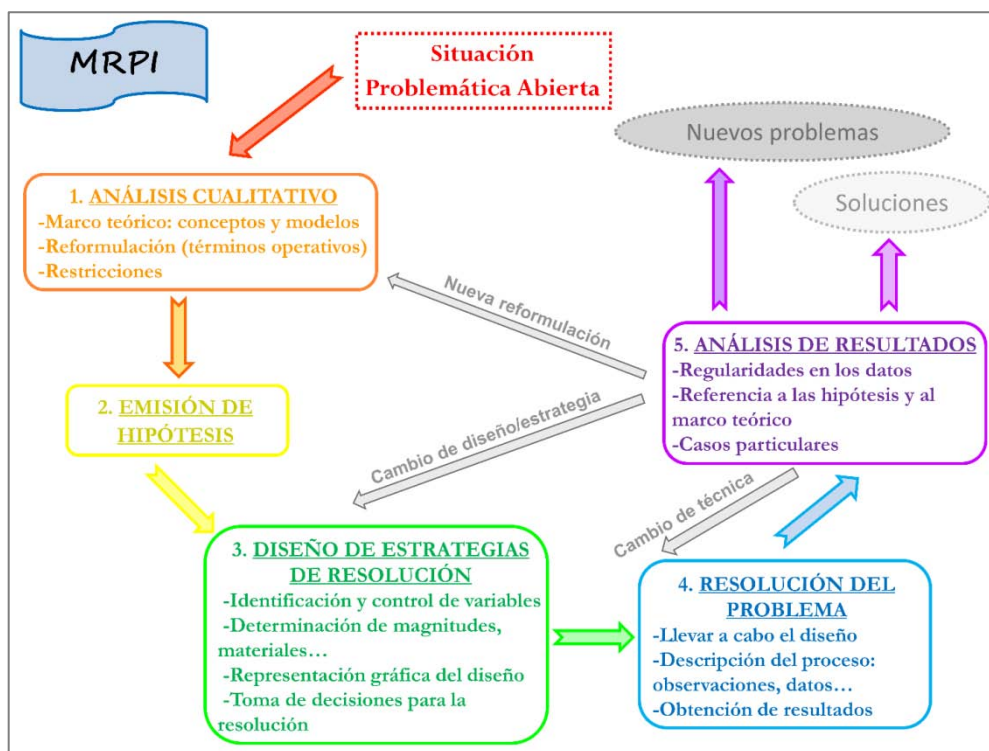


Figura 1. Esquema general de la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI).

OBJETIVOS

Nos planteamos las siguientes *preguntas de investigación*:

1. ¿Cuáles son las características y la frecuencia de las fortalezas y debilidades señaladas por el futuro profesorado para la posible implementación de la MRPI en Educación Secundaria?
2. ¿Qué diferencias existen entre las reflexiones sobre la MRPI de los futuros profesores según su modelo didáctico?

METODOLOGÍA

Este trabajo es descriptivo y cualitativo, se plantea como estudio de caso y se ha desarrollado al final de las asignaturas de Didáctica de la Física y de la Química del MFPS de la UCM, en el curso 2015/16. Además, para responder a la segunda pregunta de investigación y asignar modelos didácticos a los participantes, éstos cumplimentaron previamente un cuestionario tipo Likert de 30 ítems (escala 1–5) sobre *creencias profesionales*, seleccionados de una propuesta validada de nuestra facultad (Martínez-Aznar et al., 2001). Cabe destacar que a pesar de la existencia de toda una tipología de modelos didácticos (Fernández et al., 2001), los ítems están formulados como una dicotomía entre los modelos «tradicional» y «constructivista», por razones de conveniencia metodológica. Las 30 cuestiones del instrumento fueron seleccionadas para cubrir adecuadamente las dimensiones docentes sobre *contenidos*, *metodología*, *evaluación* y *percepción profesional*. Este análisis previo permitirá dar respuesta a la segunda pregunta de investigación.

Muestra de estudio

Del conjunto de futuros profesores que accedieron a participar en la investigación más amplia, para el presente trabajo se han seleccionado dos estudiantes que asumen en gran medida las características del modelo didáctico tradicional, y otros dos vinculados con una tendencia constructivista. Sus características se indican en la Tabla 1.

Tabla 1

Muestra de estudio, con 2 subgrupos en función de la visión «tradicional» o «constructivista» manifestada en el cuestionario de creencias profesionales (al término de las asignaturas)

Seudónimo	Edad	Titulación	% de respuestas que manifiesta cada modelo		
			Tradicional	Constructivista	Indecisión
Gustavo	23 años	Graduado en física	60.0%	20.0%	20.0%
César	24 años	Graduado en física	53.3%	26.7%	20.0%
Alba	31 años	Doctora en química	10.0%	76.7%	13.3%
Diego	30 años	Ingeniero industrial	6.7%	86.7%	6.7%

Instrumentos y técnicas de recogida y análisis de datos

Para recabar los datos se han realizado entrevistas semiestructuradas (Kvale, 2011) en el momento final de las asignaturas, tras la resolución de secuencias de problemas abiertos escolares y la elaboración de Unidades Didácticas como producto final para las materias. El entrevistador, externo al desarrollo de las mismas, se encargó de plantear cuestiones acerca del punto de vista de los estudiantes sobre la MRPI: su relación con la adquisición de competencias, su posible acogida por el alumnado de secundaria, el rol del profesor... y el papel que podría tener la metodología en su futuro docente (ver Anexo). En todo este proceso, el entrevistador procuró generar un clima de confianza, solicitando la concreción de las respuestas pero sin manifestar sus acuerdos o desacuerdos con las mismas.

Para analizar las reflexiones y opiniones de los estudiantes, primero se transcribieron las entrevistas. A continuación, hubo que seleccionar las categorías centrales que serían objeto de análisis. Así, aunque en las reflexiones hubo múltiples referencias a sus creencias profesionales en un sentido amplio, en el presente estudio nos centraremos en las «fortalezas» y «debilidades» que se asocian a la posible implementación de la MRPI en Educación Secundaria. De esta forma, una vez seleccionada la información objeto de interés, se realizó un proceso de categorización, utilizando el programa de análisis ATLAS.ti. La información se segmentó en unidades de análisis (que ejemplificaremos en la sección siguiente), y con este procedimiento emergieron una serie de categorías secundarias que fueron sometidas a juicio de expertos. Por similitud con los resultados de otros estudios que está llevando a cabo el grupo de investigación, se decidió organizar las reflexiones según las dimensiones de “alumno”, “currículo” y “profesor”.

RESULTADOS

Primera pregunta de investigación

Esta pregunta hace referencia a la búsqueda de las creencias que los futuros profesores asignados a los modelos didácticos tradicional y constructivista señalan de forma frecuente y semejante (las diferencias reseñables entre ambos grupos se analizan para la segunda pregunta de investigación).

En primer lugar, la Tabla 2 muestra la frecuencia con que los futuros profesores describieron «fortalezas» y «debilidades» sobre la posible utilización de la MRPI (la metodología indagativa utilizada en el Máster) en Educación Secundaria, entre las distintas reflexiones realizadas en las entrevistas. Se indica que mientras los estudiantes Gustavo y César señalaron un número parecido de fortalezas y debilidades, para Alba y Diego existe un dominio claro de sus potencialidades.

Tabla 2

Frecuencias en las reflexiones de Gustavo, César (modelo didáctico tradicional), Alba y Diego (modelo didáctico constructivista) sobre la aplicabilidad de la MRPI en Secundaria

Estudiante*	Duración entrevista	Reflexiones consideradas	Fortalezas (nº)	Fortalezas (%)	Debilidades (nº)	Debilidades (%)
Gustavo	38 min	48	22	45.8%	26	54.2%
César	41 min	45	22	48.9%	23	51.1%
Alba	48 min	64	49	76.6%	15	23.4%
Diego	41 min	49	31	63.3%	18	36.7%
TOTAL	168 min	206	124	60.2%	82	39.8%

*Los nombres son ficticios.

Por otra parte, la Tabla 3 recoge las categorías emergentes del análisis, junto con el número de intervenciones realizadas por cada uno de los participantes en el estudio. Esta última tabla nos servirá como guía para responder las preguntas de investigación ya planteadas. Así, en relación con la primera de ellas, la revisión de la tabla da cuenta de 4 ventajas y 4 desventajas sobre las que se detecta un cierto consenso entre ambos subgrupos de estudiantes (categorías señaladas en negrita).

En relación con las fortalezas de la MRPI para su traslado a Secundaria, los estudiantes del Máster señalaron con una mayor frecuencia el hecho de que ésta favorezca el «aprendizaje de capacidades» (19 reflexiones, ver Tabla 3). En este sentido, algunas de las ideas apuntadas por los futuros profesores fueron:

“Sí que es verdad que se adquirirían otro tipo de habilidades, como por ejemplo la resolución de problemas [...] que no sean «cálculame tal, resuélveme tal».” (César)

“Es una buena metodología para que el alumno trabaje..., pues eso, que formule sus propias hipótesis, que reelabore el problema; tiene que entenderlo para poder resolverlo. Entonces por ese lado me parece muy bueno, o sea, es un buen método.” (Diego)

“Entiendo que [la MRPI] está muy dirigida a las capacidades, [...] a lo de trabajar esta capacidad que había en relación con los bloques de actividad científica, de trabajar de una manera adecuada en el laboratorio, incluso de procesos de razonamiento.” (Gustavo)

Tabla 3

Frecuencias de análisis de los estudiantes sobre la MRPI (en negrita se indican las categorías señaladas frecuentemente donde hay consensos). Las diferencias destacables entre los futuros docentes «tradicionales» y «constructivistas» están encuadradas

		Categorías y frecuencias de reflexión	Gus- tavo	Cé- sar	Alba	Die- go	
FORTALEZAS	ALUM- NO	Autorreflexión.....	3	1	5	4	
		Metacognición.....	—	1	3	1	
		Aprendizaje persistente.....	—	—	3	3	
		Autonomía.....	3	1	5	4	
		Aprendizaje cooperativo	1	2	1	3	
		Motivación	2	3	3	2	
		Satisfacción.....	1	—	2	1	
		Interés hacia la Ciencia.....	—	—	3	3	
	CURRÍ- CULO	<i>Promueve aprendizaje de:</i>					
		Conceptos.....	—	—	6	2	
		Capacidades	5	5	6	3	
		Actitudes.....	2	2	1	—	
		Resolución de problemas diversos.....	1	1	2	1	
		Resolución de problemas reales.....	—	3	—	—	
		Visión de la Naturaleza de la Ciencia	4	3	6	—	
	PRO- FESOR	Promueve objetivos docentes / rendimiento alumnado	—	—	3	2	
		Engloba muchos indicadores de evaluación.....	—	—	—	2	
DEBILIDADES	ALUM- NO	<i>Dificultades sobre:</i>					
		Requisito de conocimientos amplios.....	3	—	3	—	
		Capacidades, procedimientos	1	2	3	2	
		Expectativas (apertura excesiva)	3	2	1	4	
		Destrezas experimentales.....	—	—	1	—	
		<i>Resistencia al trabajo:</i>					
		Derivada de la actividad	2	2	—	2	
		Derivada del trabajo cooperativo.....	—	1	1	2	
	CURRÍ- CULO	Frustración.....	—	4	—	2	
		Para alumnado “bueno”.....	2	2	—	—	
		Para cursos superiores.....	—	—	3	—	
		Insuficiente para contenidos conceptuales.....	5	4	—	—	
	PRO- FESOR	Insuficiente para resolver ejercicios.....	2	2	—	—	
		Consume mucho tiempo de aula	4	—	1	2	
		Diseño complejo de las actividades.....	1	—	1	—	
		<i>Dificultades en el trabajo docente:</i>					
		Consecución de los objetivos.....	3	3	—	—	
		Gestión del aula.....	—	1	—	3	
		Riesgos en el laboratorio.....	—	—	1	1	

Otra de las ventajas más señaladas es que la MRPI promueve una visión actual de la «naturaleza de la ciencia», categoría que cuenta con 13 aportaciones y en la que intervinieron todos los estudiantes salvo Diego. A continuación se recogen algunas de las reflexiones en este sentido:

“Creo que acerca realmente la realidad de un científico en un laboratorio al alumno: [...] qué es lo que se ha obtenido, qué no, por qué es esto, por qué no es lo otro, qué puede hacer a continuación... Porque de la otra manera [...] con el guion le das todo establecido, y le das hasta incluso... lo que tienen que obtener.” (Alba)

“Ellos se motivan porque además están resolviendo problemas reales, que luego tanto si se quieren dedicar a la Ciencia como si no, por lo menos tienen una idea de cómo se hace, cómo se resuelve un problema científico. Y a mí eso me parece muy útil.” (César)

“Creo que es una manera de que ellos vean que la Ciencia no son fórmulas y problemas, que es un poco la idea que se tiene en el instituto... Claro, eso visto así es muy aburrido, no tiene interés. Entonces, creo que es como mostrar esa otra parte.” (Alba)

De la misma forma, otra fortaleza indicada frecuentemente por los participantes fue la capacidad «motivadora» de la MRPI (10 reflexiones), con expresiones como:

“[La MRPI] debería tener una buena acogida, porque es una actividad en cierto modo casi lúdica, en un contexto diferente, [los estudiantes] tienen bastante iniciativa...” (Gustavo)

“Yo creo que ellos [los alumnos] también se lo tomarán bien, porque es algo novedoso, tienen que pensar, tienen que razonar, no es algo sistemático ni de memorizar...” (Diego)

“Una ventaja muy grande es que puede motivar mucho a los alumnos, porque pueden estar acostumbrados siempre a la misma mecánica en clase, en plan «yo te cuento el rollo, tú luego resuelves estos ejercicios, los pones en un examen y se acabó».” (César)

Finalmente, otro aspecto ventajoso de la MRPI señalado por los futuros profesores es que promueve el «aprendizaje cooperativo» (7 aportaciones), con reflexiones del tipo:

“Gracias al tratamiento entre iguales, yo creo que los niños se abren más, bueno, incluso los adultos nos abrimos más en los grupos. Y también te permites decir algo que puedes creer que es una tontería, cuando en realidad otros también piensan lo mismo, o se ponen en común las dudas.” (Diego)

“Sí que pienso que un trabajo individual en un laboratorio es muy poco productivo, y más cuando se trata de intentar avanzar por tus propios medios, más que de seguir un guion. [...] Cuando una persona se bloquea, si no tiene nadie que lo apoye es muy difícil seguir un proceso autónomo... Entonces sí pienso que en este tipo de dinámica es necesario al grupo, sí.” (Gustavo)

Ya en cuanto a las debilidades de la metodología indagativa abordada, algunas de las consideradas de forma reiterada por el grupo de futuros profesores tienen que ver con la dificultad excesiva que puede conllevar para el alumnado de secundaria. Por una parte, esto se relaciona con unas «expectativas» difusas en relación con las actividades (10 reflexiones, ver Tabla 3), es decir, que el “grado de apertura” de los problemas trabajados en el Máster puede parecerles excesivo. A continuación se muestran varios ejemplos al respecto:

“Yo es que la parte un poco negativa que veo en la MRPI es que tienes tú mismo que ponerte restricciones. O sea, tienes que planteártelo todo... sin tener muchas acotaciones. De alguna manera, creo que eso es complicado para gente pequeña, con pocos conocimientos...” (Alba)

“Yo esto lo veo una desventaja grande, más por lo que yo he experimentado. A lo mejor te presentan un problema así, abierto [...] antes de que te den una explicación como tal te dicen «bueno, resuelve esto», y lo primero que se puede plantear el estudiante es decir «bueno, ¿yo ahora qué hago?» Sabes, «tengo estos materiales... pero luego no sé muy bien cómo enfocarlo».” (César)

“Si la pregunta es muy abierta no sabes si puedes seguir obteniendo conclusiones, o sea, no llegas a saber nunca si se te ha escapado algo o no. Has sacado una conclusión, vale, ¿pero podías sacar más o no? Yo creo que no, pero te queda la duda hasta que no te lo cuentan.” (Diego)

Por otra parte, los futuros docentes justificaron que la MRPI podría conllevar una gran dificultad debido a las exigencias que implica en términos de «capacidades y procedimientos» (8 aportaciones), reflejadas en frases como:

“La identificación de las variables me parece algo bastante complicado para alumnos de secundaria. [...] A lo mejor los alumnos no lo entienden demasiado rápido, y basta que lo consideren de una manera implícita sin saber que son variables, sino que hay cosas que uno puede controlar y cosas que no.” (Gustavo)

“La emisión de hipótesis me parece muy importante, pero me parece muy difícil de hacer por parte de los alumnos porque, sobre todo, si es la primera vez que se enfrentan a ello, me parece que les puede faltar... no sé si creatividad, o ideas sobre cómo resolver los problemas.” (César)

De forma coincidente con otros estudios (Vázquez, Jiménez y Mellado, 2010), el «consumo de tiempo» también parece ser un obstáculo para que el profesorado en formación inicial asuma este tipo de metodologías innovadoras, pues se realizaron 7 reflexiones del tipo:

“Quizás el inconveniente que veo, que si tú realizas una práctica de otro tipo pues en poco tiempo la puedes desarrollar en el laboratorio. En cambio, una MRPI creo que lleva un tiempo asociado... que es más difícil de...” (Alba)

“[...] a lo mejor una vez, para hacer una revisión experimental de lo que se ha tratado en clase, pero experimentos de iniciación de..., no sé, es que me parece un poco pérdida de tiempo para motivar, ¿no?, porque la inversión es demasiado alta como para que...” (Gustavo)

Para terminar con esta sección, también se apunta una posible «resistencia» del alumnado hacia este tipo de actividades (6 aportaciones), debido al rol más protagonista que deben asumir (Prince y Felder, 2007). A continuación se muestran ejemplos de este tipo de análisis:

“[...] llegas y no sabes cómo seguir, no has observado lo que tenías que observar [...] Entonces, yo creo que siendo adultos sí que nos quedamos en el sitio y nos portamos bien. Siendo chavales, cuando se aburren, cuando no saben cómo seguir [...] te la lían y se complica la cosa.” (Diego)

“Al final el alumno si ve que él no sabe y tal, lo primero que va a hacer es decir «profe, ¿qué hago?» Y el profe al final... se va a sentir tentado de decirle: «pues mira, al final haz esto y haz esto» ¿Sabes? Yo creo que esa tampoco es la idea.” (César)

Segunda pregunta de investigación

Esta pregunta se refiere al análisis de la dependencia entre las diferentes creencias sobre la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI) y los modelos didácticos. Para ello, se realiza un estudio descriptivo en varias fases. En primer lugar, se elaborarán unos perfiles de los estudiantes de Máster participantes, atendiendo al tipo de reflexiones que focalizan sus análisis sobre la MRPI. En segundo lugar, y recurriendo nuevamente a la Tabla 3, se estudiarán las categorías de análisis donde se presentan diferencias relevantes entre los futuros docentes «tradicionales» y «constructivistas».

A) Perfiles de los cuatro estudiantes de máster en relación a la MRPI

El cómputo del número de reflexiones sobre la MRPI que los futuros profesores realizan para las dimensiones de “alumno”, “currículo” y “profesor”, tanto en el plano de fortalezas como en el de debilidades, da lugar a los *diagramas radiales* de la Figura 2. Así, de forma muy visual se constata una posición ambivalente respecto a la MRPI por parte de Gustavo y César, los estudiantes vinculados al modelo didáctico tradicional. En cambio, Alba y Diego (asignados al modelo constructivista) centran su análisis en señalar fortalezas de la MRPI.

Si se comienza por señalar las *similitudes* entre estos cuatro estudiantes, conviene destacar que en todos los casos la dimensión sobre la que se realiza un mayor número de aportaciones es la correspondiente al “alumno”. Este hecho es esperable debido a que la premisa de nuestra propuesta para las asignaturas de Didáctica de la Física y de la Química del Máster es que los futuros profesores «vivan en primera persona» las características del aprendizaje a través de la indagación. Por ello, resulta lógico que en este momento de su formación, los futuros docentes centren su análisis en el traslado de sus propias vivencias al caso de los estudiantes de secundaria (Pilitsis y Duncan, 2012). Por el contrario, escasean las reflexiones asociadas a la dimensión del “profesor”, con la salvedad de los casos de Gustavo y Diego.

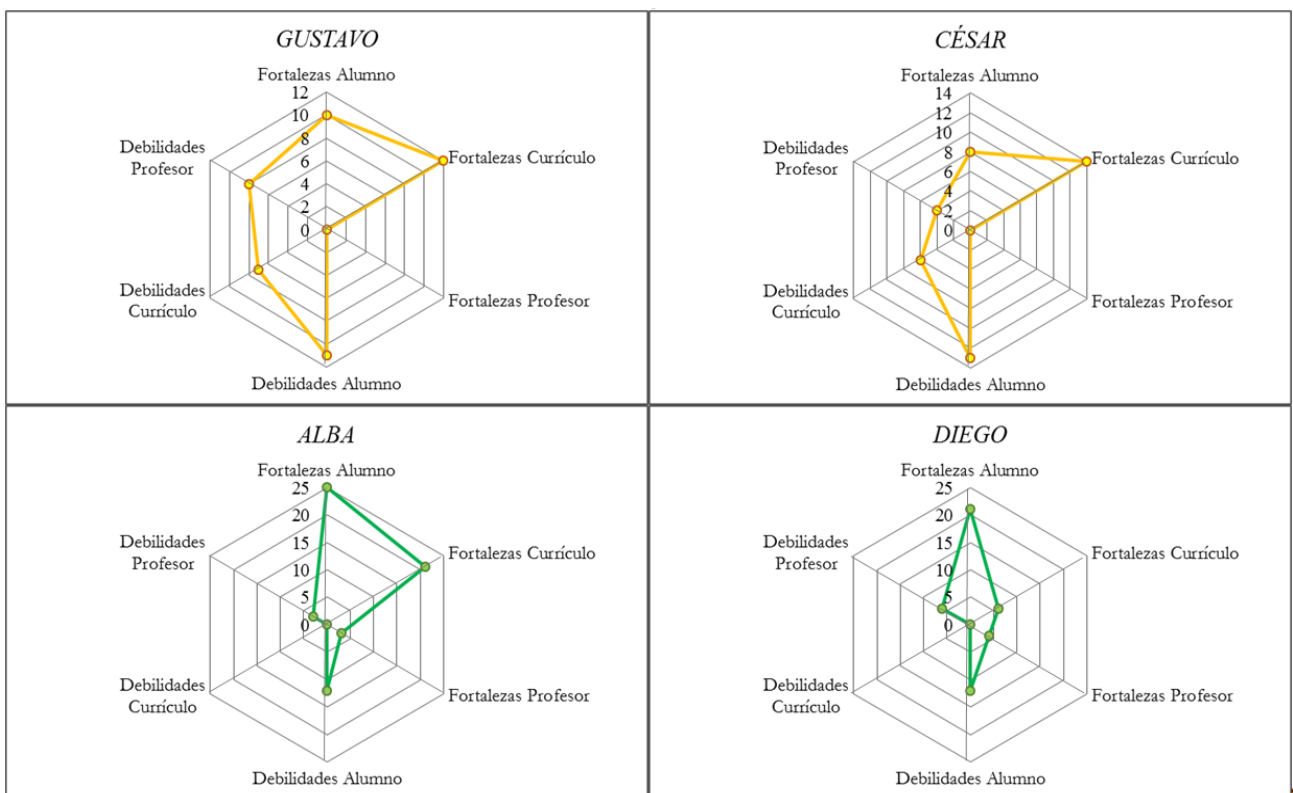


Figura 2. Diagramas radiales para representar los perfiles del futuro profesorado, en función del nº de fortalezas y debilidades que señalan para las dimensiones de “alumno”, “currículo” y “profesor”. Las escalas se señalan en cada uno de los diagramas.

De igual manera, y al margen de que también se señalen debilidades, las reflexiones sobre las «fortalezas curriculares» conforman la categoría mayoritaria en los análisis de Gustavo y César (a pesar de haber sido vinculados al modelo tradicional), y una categoría destacada en los otros dos casos. Este resultado nos indica que, a pesar de las desventajas que los futuros profesores puedan encontrar en la utilización de la indagación, todos ellos parecen ser conscientes de sus ventajas para favorecer la enseñanza de procedimientos de trabajo científico.

Por otra parte, al considerar los dos modelos didácticos asignados a los profesores en formación inicial, se observa que Gustavo y César (modelo tradicional) presentan un perfil muy similar (Figura 2), con la excepción del mayor peso que da Gustavo a las desventajas que le supondría el trabajo con la MRPI en su futuro docente (consumo de tiempo, diseño complejo de las actividades y dificultad para conseguir los objetivos).

En cualquier caso, tanto Gustavo como César conciben una serie de fortalezas curriculares de la MRPI (sobre todo para el aprendizaje de procedimientos) y también debilidades en esta línea (fundamentalmente para el trabajo sobre conceptos). Ambos contemplan una serie de dificultades que les acarrearía el trabajo docente con la MRPI y, finalmente, realizan un buen número de reflexiones sobre la repercusión de esta metodología en el propio alumnado. En este sentido, predominan las valoraciones negativas, como la dificultad de las fases de la MRPI, un sentimiento de “frustración” que podría inhibir el correcto desempeño del alumnado (Mellado, Blanco, Borrachero y Cárdenas, 2012) o la posible “resistencia” del alumnado a este trabajo (Prince y Felder, 2007), aspectos que también vienen recogidos en la literatura sobre la temática.

El perfil de Alba y Diego (los futuros profesores vinculados al modelo constructivista) es notablemente diferente a los anteriores, como se observa en la Figura 2. En estos casos, predominan las aportaciones sobre las ventajas que podría acarrear el trabajo con la MRPI para el “alumnado” (favorecer un aprendizaje persistente y autorreflexivo, promover el interés hacia la Ciencia, etc.). Además, en contraste con los futuros docentes «tradicionales», Alba y Diego sí identifican algunas ventajas que conllevaría el trabajo con la MRPI en su futura labor docente, y no señalan ninguna debilidad curricular de la MRPI. Por último, cabe destacar que la mayor diferencia entre estos dos estudiantes reside en la importancia mayor que Alba otorga en su análisis a la dimensión sobre el “currículo”, mientras que Diego realiza más aportaciones en relación con el “profesor” (indicadores de evaluación, gestión del aula o el tiempo como factor limitante).

B) Categorías de reflexión con mayores diferencias según el modelo didáctico

La Tabla 3 señala una serie de categorías de reflexión en las que, dependiendo del modelo didáctico de los futuros profesores, se detecta un número notablemente diferente de aportaciones. Por ello, en la tabla se destacan con recuadros los casos en que hay una diferencia entre el número de reflexiones igual o superior a 4. Esta disparidad en las creencias se analizará a continuación, organizando la discusión en torno a tres aspectos.

Aspecto 1. Aprendizaje de contenidos conceptuales, resolución de ejercicios y persistencia del aprendizaje

Una de las diferencias más destacables entre los cuatro participantes se corresponde con cómo se trabajan los contenidos conceptuales en la MRPI. La Tabla 3 muestra que mientras Gustavo y César consideran que esta metodología indagativa resulta “insuficiente” para abordar estos contenidos, Alba y Diego manifiestan lo contrario, es decir, que la MRPI promueve el aprendizaje conceptual. A continuación se muestran varios ejemplos de reflexiones por parte de los futuros docentes «tradicionales»:

“He hecho un par de MRPIs aquí en el Máster, y como alumno... yo pienso que los contenidos teóricos se aprenden mucho mejor si son transmitidos por el profesor, y luego revisados por el estudiante, y estudiados y demás.” (César, Insuficiente para contenidos conceptuales)

“Si soy sincero, para el aprendizaje efectivo de conceptos o de qué características tiene cada situación o cada proceso no me parece demasiado útil. Me parece que necesita demasiada explicación alrededor y que al final no tiene por sí mismo el efecto que debería tener.” (Gustavo, Insuficiente para contenidos conceptuales)

En cambio, las valoraciones por parte de los futuros profesores «constructivistas» fueron del tipo de las siguientes:

“[La MRPI] también engloba los conocimientos. Es que la MRPI no es cuestión de aprenderse conocimientos, sino aprendérselos y aplicar. O sea, no se les pide que... digamos que escupan los conocimientos, sino que lo que se les pide es que a partir de esos conocimientos... resolver un problema.” (Diego, Aprendizaje de conceptos)

“Aunque suene mal decirlo, pero... incluso a mí me han quedado las cosas más claras al hacer la MRPI, y se supone que tengo el máximo grado posible, pero... al ser conceptos como muy básicos que se supone que los tienes muy claros [...] nunca me los había planteado de esa manera, y es como encajar piezas de una manera diferente a como lo has hecho siempre.” (Alba, Aprendizaje de conceptos)

Estos ejemplos sugieren visiones antagónicas del aprendizaje por parte de los cuatro futuros profesores. Entre los estudiantes asignados al modelo didáctico constructivista, Diego sugiere la importancia de contextualizar los conocimientos científicos en casos prácticos (es decir, en problemas), mientras que Alba describe una visión del aprendizaje en continuo cuestionamiento y modificación (a pesar de ser doctora, su comprensión de determinados aspectos de física y química se ha visto modificada). Por el contrario, las reflexiones de los futuros docentes «tradicionales» parecen asociar los conceptos científicos con verdades objetivas e inmutables que deben ser transmitidas por el profesor (Fernández et al., 2001).

Para profundizar en la visión sobre el aprendizaje escolar de estos estudiantes de Máster, conviene considerar las categorías sobre la resolución de “ejercicios” cerrados y acerca del “aprendizaje persistente” que emergen en las entrevistas. En su análisis sobre la MRPI, Gustavo y César (modelo didáctico tradicional) apuntaron una insuficiencia de esta metodología indagativa para promover la resolución de actividades cerradas de tipo numérico, con aportaciones como las siguientes:

“[...] al final se dejan muchos flecos sueltos. Es verdad que la profesora dice que al final un alumno que ha aprendido de esta manera luego es capaz de resolver lo que ella llama «ejercicios», que son los que se hacen con calculadora. Bueno, yo pienso que habría que verlo...” (Gustavo, Insuficiente para resolver ejercicios)

“De cara a los ejercicios numéricos, que sí que se dejan un poco de lado, me parece que esos tienen que ser como toda la vida, del método tradicional de... transmitidos por el profesor, de que ellos luego miren las fórmulas y los resuelvan en su casa, porque al fin y al cabo en el futuro también lo van a necesitar.” (César, Insuficiente para resolver ejercicios)

Este tipo de consideraciones por parte de Gustavo y César parecen reflejar el poso de haber vivido el aprendizaje a través de una «cultura escolar tradicional» y una resistencia a abandonarla, aspecto que también describen otros autores (Porlán et al., 2010). Sin embargo, los futuros docentes vinculados al modelo constructivista no realizaron ninguna reflexión en la línea anterior, y en su lugar sí incluyeron menciones como las siguientes respecto a cómo la MRPI promueve un aprendizaje persistente en el tiempo:

“Muchas veces aprendes las cosas de memoria, «para resolver esto tengo que realizar estos pasos», pero luego dentro de 2 meses... ya no te acuerdas de nada. En cambio, si lo has comprendido y has razonado por qué lo vas a realizar de esa manera y no de otra, eso sí se

queda mucho más afianzado interiormente. Entonces, creo que este aprendizaje es más a largo plazo que «el otro».” (Alba, Aprendizaje persistente)

“Hay cosas que hice durante la carrera que digo: «ahora mismo sería imposible». Yo recuerdo que hice un reloj digital en la carrera [...] ahora sería absolutamente incapaz de hacerlo, es que no tengo ni idea, no sé [...] y lo aprobé y se me dio bien y todo, pero no me acuerdo. Sin embargo, en la MRPI te tienes que plantear cada paso, es que cada paso lo haces tú.” (Diego, Aprendizaje persistente)

El conjunto de reflexiones mostradas arroja luz sobre el aspecto posiblemente “clave” que hace que los estudiantes de Máster sean o no proclives a utilizar la indagación en su futuro docente. Los futuros profesores asignados al modelo tradicional asumen el aprendizaje de los conceptos como una transmisión de las ideas que el profesor tiene sobre los mismos, e igualmente se encuentran fuertemente condicionados por el modo en el que aprendieron ciencias en su pasado. En cambio, los futuros docentes constructivistas consideran fundamental que el aprendizaje conceptual se vincule a contextos específicos, y cuestionan el recurrir permanentemente a actividades “tipo receta”, asumiendo que este aprendizaje no perdura en el tiempo. Por todo ello, estos últimos docentes, cuya «complejidad» en la reflexión docente es mayor (Vázquez, Jiménez y Mellado, 2007), contemplan la MRPI como una estrategia metodológica adecuada a su visión educativa.

Aspecto 2. Autonomía, autorreflexión e interés hacia la Ciencia

Una nueva revisión de la Tabla 3 da cuenta de que para las categorías (*fortalezas*) sobre “autonomía” y “autorreflexión”, el número de aportaciones que realizan los futuros docentes «constructivistas» es destacablemente mayor (en cada caso, 9 reflexiones frente a las 4 señaladas por los estudiantes vinculados al modelo tradicional). Asimismo, en sus entrevistas los futuros profesores «tradicionales» no realizan ninguna referencia a la promoción del interés hacia la Ciencia, mientras que Alba y Diego señalan este aspecto en 6 ocasiones. A continuación se muestran algunas de las reflexiones realizadas por los últimos para este conjunto de categorías:

“[La MRPI] puede hacer que los alumnos tengan mayor interés porque tienen libertad y pueden experimentar, que yo creo que en esas edades se tienen muchas ganas de probar todo y de ver qué ocurre y qué no ocurre. Creo que eso les puede generar... interés el tener esa libertad” (Alba, Autonomía)

“Una vez que cojan la dinámica, yo estoy convencido de que van a ser ellos los que me pregunten [...] ellos van a venir a preguntar y a resolver dudas y... esto hace que el alumno sea el protagonista, que no sea el protagonista el profesor.” (Diego, Autonomía)

“[La MRPI] tiene como una prioridad de reflexión [...] el por qué vas a hacer esto o, según obtienes un resultado, el por qué has obtenido ese resultado. [...] A mí me pareció muy positiva porque me parece... que hace que reflexiones y te plantees las cosas” (Alba, Autorreflexión)

“Algo bueno que existe es que se acostumbrarán a hablar entre ellos sobre temas académicos. Entonces, es fácil que salgan del centro y sigan hablando de estos temas entre ellos, porque están acostumbrados a hacerlo.” (Diego, Interés hacia la Ciencia)

“Sobre todo veo como que [la MRPI] acerca... hace que los alumnos lleguen a comprender mejor lo que es la Ciencia y por qué se realiza, y puedan tener mayor interés y ver... toda la parte que yo veo fascinante de la Ciencia.” (Alba, Interés hacia la Ciencia)

El tipo de análisis realizado por Alba y Diego indica que en sus reflexiones, además de la construcción de conocimientos, cobra fuerza el desarrollo de destrezas metacognitivas (National Research Council, 2000; Hmelo-Silver et al., 2007). Igualmente, los estudiantes «constructivistas» incorporan argumentos actitudinales en su defensa de la MRPI (interés hacia la Ciencia), justificando que la superación

de retos, la posibilidad de disponer de un alto grado de autonomía o de compartir inquietudes entre iguales serían muy bien recibidas por el alumnado de secundaria. En cambio, estos catalizadores del uso de metodologías indagativas no actúan de igual manera en los casos de Gustavo y César (modelo tradicional). Ello podría deberse a un «obstáculo» detectado en la bibliografía sobre la formación del profesorado, que indica que un número de docentes justifica el *interés* del alumnado hacia las materias como un hecho que atañe solo a éstos, obviando las características de la enseñanza por parte del profesor (Vázquez et al., 2010).

Aspecto 3. Los objetivos docentes y los destinatarios de la MRPI

El análisis del porqué de la baja implantación de las metodologías indagativas en las aulas escolares es un aspecto de gran importancia en la investigación en didáctica de las ciencias, y se viene relacionando con una serie de creencias profesionales (Roehrig y Luft, 2004). Entre ellas, se encuentra el suponer su incompatibilidad con los currículos oficiales, el contemplar que dificultan la gestión del aula y la consecución de los objetivos docentes (Marshall y Smart, 2013) o el creer que son válidas solo para alumnos con altas capacidades (Colburn, 2000). Precisamente, este conjunto de creencias es detectado en Gustavo y César, los futuros profesores asignados al modelo didáctico tradicional, con aportaciones como las que siguen:

“Con la MRPI me parece que al final nunca puedes controlar del todo qué es lo que va a aprender el estudiante.” (César, Dificultad en la consecución de los objetivos)

“Lo que pasa es que tampoco creo que sea productivo un guion tan abierto como para que uno no pueda llegar a conclusiones. Y claro, el problema es que en realizar una experiencia se invierte tiempo y se invierte esfuerzo; como para no garantizar unos resultados...” (Gustavo, Dificultad en la consecución de los objetivos)

“[El trabajo con la MRPI] yo creo que también depende un poco del grupo, y del aula y del contexto [...] con los malos estudiantes, también es posible que muchos de ellos ante una dificultad añadida [...] al final lo dejen, que «pasen», en plan de que se frustren y no consigan avanzar.” (César, Para alumnado “bueno”)

En cambio, Alba y Diego no hacen menciones a las categorías de reflexión «dificultad en consecución de objetivos» y «para alumnado bueno», sino que contemplan la MRPI como promotora de los objetivos docentes y del rendimiento del alumnado. En este sentido, algunas de sus reflexiones en las entrevistas fueron las siguientes:

“[La MRPI] abarca una gran cantidad de parámetros, de indicadores que nos servirían para evaluar. Vamos, es que casi engloba... engloba muchísimos, muchos indicadores.” (Diego, Engloba indicadores de evaluación)

“[...] cuando los alumnos se centren en cómo se debe hacer y cuál es el método, yo creo que sí que cumplirán los objetivos, y además los cumplirá la mayoría.” (Diego, Promueve objetivos docentes)

“Yo ya cuando hice el Doctorado sí pensaba y analizaba pero... creo que esa componente de reflexión no la tienes haciendo las prácticas convencionales. Entonces, al implementar la MRPI creo que el rendimiento será mayor porque... creo que lo puedes comprender mejor, y ver el sentido mejor que siguiendo una «receta».” (Alba, Promueve objetivos docentes)

Estas últimas reflexiones apuntan aspectos que la comunidad responsable de la formación del profesorado debería tomar en consideración para promover el uso de los métodos indagativos en los niveles escolares. Por una parte, Diego señala la gran cantidad de indicadores de evaluación que abarca la resolución de este tipo de problemas (Rodríguez-Arteche y Martínez-Aznar, en prensa), una reflexión que habría que promover en el profesorado novel para combatir la creencia generalizada acerca del tiempo elevado que consume la indagación (una visión también presente en nuestra muestra, como ya hemos comentado). Igualmente, Diego señala que la *mayoría* de los estudiantes cumpliría los objetivos docentes (y no solo los “buenos”), un comentario que desgraciadamente no suele ser muy común en el profesorado, a pesar de la existencia de ejemplos de buenas prácticas indagativas en grupos de alumnos que presentan dificultades de aprendizaje (Pavón y Martínez-Aznar, 2014 –para un programa de Diversificación Curricular).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos sugieren implicaciones de interés para la formación inicial del profesorado de secundaria, y curiosamente parecen reproducir los debates existentes en el área acerca de las cualidades de la indagación (Couso, 2014). En cualquier caso, de acuerdo con nuestra pretensión de favorecer la reflexión acerca de las características del aprendizaje a través de la MRPI (la metodología indagativa considerada), creemos que el hecho de que en los cuatro casos analizados la dimensión mayoritaria en las entrevistas haya sido la correspondiente al “alumno” puede considerarse como positivo. En relación a esto, los futuros profesores realizan aportaciones de carácter emocional, justifican las dificultades que perciben sobre el trabajo con la MRPI e incluso hacen referencia a destrezas metacognitivas. Por ello, al margen de que los estudiantes de Máster sean más o menos proclives a la aplicación de la MRPI en Educación Secundaria, creemos que las reflexiones originadas a partir de su «vivencia» del aprendizaje a través de la indagación serán de utilidad para su labor futura. Igualmente, resulta digno de mención el papel destacado que han jugado en todos sus análisis las aportaciones sobre las «fortalezas curriculares» de la MRPI, en términos de competencias científicas.

Pasando ya a la *1ª pregunta de investigación*, como *fortalezas* consensuadas de la MRPI los futuros profesores han señalado que favorece el aprendizaje de capacidades científicas (que es la categoría con un mayor número de reflexiones, 19), su promoción de una visión actual de la naturaleza de la ciencia, su adecuación en relación con el trabajo cooperativo y, en definitiva, su cualidad motivadora. No obstante, en relación con lo último cabe matizar que Gustavo y César (modelo tradicional) describen esta motivación fundamentalmente en términos de “características lúdicas” y “novedad”, mientras que Alba y Diego (modelo constructivista) incorporan aspectos como el satisfacer la “curiosidad” natural del alumnado, o la gratificación de aplicar habilidades de “razonamiento”. En cuanto a los acuerdos sobre las *debilidades* de la MRPI para su traslado a Secundaria, se ha señalado su dificultad debido a la “apertura” de los problemas (reflexión mayoritaria, con 10 aportaciones), la complejidad de sus procedimientos (emisión de hipótesis, identificación de variables...), la posible resistencia del alumnado al trabajo y la percepción de que consume demasiado tiempo de clase –creencia considerada como uno de los principales «obstáculos» para una adecuada formación del profesorado (Vázquez et al., 2010)–.

Por otra parte, el análisis de las creencias en relación con el modelo didáctico (*2ª pregunta de investigación*) parece indicar la dificultad que puede suponer el asumir este tipo de metodologías indagativas por parte del futuro profesorado con creencias de tipo tradicional más arraigadas (Opfer y Pedder, 2011). En este sentido, Gustavo y César, a pesar de describir toda una serie de «fortalezas» de la MRPI, no consideran que esta metodología indagativa favorezca el aprendizaje conceptual, señalan su inadecuación para promover la resolución de “ejercicios” de tipo numérico y ponen en cuestión su uso en un futuro, señalando que dificultaría la consecución de sus objetivos. Por el contrario, Alba y Diego (modelo constructivista) ponen en valor el que la MRPI favorezca un aprendizaje persistente y significativo, al promover el trabajo sobre conceptos en contextos específicos (problemas). Igualmente, realizan un número notablemente mayor de reflexiones de tipo metacognitivo, y consideran la mejora del interés hacia la Ciencia como algo fundamental (Comisión Europea, 2007), lo que les lleva a señalar que a través de la MRPI una mayoría del alumnado conseguiría los objetivos propuestos.

En todo caso, las ideas aquí recogidas deben contemplarse con cierta precaución. Desde nuestro punto de vista, sería necesario extender este tipo de análisis a un mayor número de futuros profesores. Además, los cuatro estudiantes de Máster de este artículo corresponden a modelos didácticos “extremos”, por lo que en próximos trabajos contemplamos incorporar a futuros docentes situados en modelos “intermedios”. Finalmente, a raíz de los resultados obtenidos consideramos necesario continuar (y difundir)

el desarrollo de materiales para ser abordados con metodologías indagativas en la formación inicial del profesorado, de forma que se consiga superar la «resistencia» de parte de los futuros docentes hacia estos métodos innovadores.

REFERENCIAS

- Abell, S.K. (2008). Twenty years later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education*, 30(10), 1405-1416.
- Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science Scope*, 23(6), 42-44.
- Comisión Europea (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Bruselas. Recuperado de: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf, 15 de julio de 2016.
- Couso, D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. Actas de los 26 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva: ÁPICE.
- Crujeiras, B., y Jiménez-Aleixandre, M.P. (2015). Desafíos planteados por las actividades abiertas de indagación en el laboratorio: articulación de conocimientos teóricos y prácticos en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 63-84.
- English, M.C., y Kitsantas, A. (2013). Supporting student self-regulated learning in Problem- and Project-based learning. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 7(2), 128-150.
- Fernández, J., Elortegui, N., Rodríguez, J.F., y Moreno, T. (2001). *Modelos didácticos y enseñanza de las ciencias*. Tenerife: Centro de la Cultura Popular Canaria.
- Hmelo-Silver, C.E., Duncan, R.G., y Chinn, C.A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107.
- Ibáñez, M.T., y Martínez-Aznar, M.M. (2007). Solving problems in genetics (III): Change in the view of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 29(6), 747-769.
- Jiménez-Tenorio, N., y Oliva, J.M. (2016) Aproximación al estudio de las estrategias didácticas en ciencias experimentales en formación inicial del profesorado de Educación Secundaria: descripción de una experiencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 121-136.
- Kvale, S. (2011). *Las entrevistas en Investigación Cualitativa*. Madrid: Morata.
- Lehman, J.D., George, M., Buchanan, P., y Rush, M. (2006). Preparing teachers to use problem-centered inquiry-based science: Lessons from a four-year professional development project. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1), 76-99.
- Marshall, J.C., y Smart, J.B. (2013). Teachers' transformation to inquiry-based instructional practice. *Creative Education*, 4(2), 132-142.
- Martínez-Aznar, M.M., Martín del Pozo, R., Rodrigo, M., Varela, M.P., Fernández, M.P., y Guerrero, A. (2001). ¿Qué pensamiento profesional y curricular tienen los futuros profesores de ciencias de Secundaria? *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 67-87.
- Martínez-Aznar, M.M., y Varela, M.P. (2009). La resolución de problemas de energía en la formación inicial de maestros. *Enseñanza de las ciencias*, 27(3), 343-360.
- Martínez-Aznar, M.M., Rodríguez-Arteche, I., y Gómez-Lesarri, P. (En prensa). La resolución de problemas profesionales como referente para la formación inicial del profesorado de física y química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*.
- Martínez-Chico, M., Jiménez-Liso, M.R., y López-Gay, R. (2015). Efecto de un programa formativo para enseñar ciencias por indagación basada en modelos, en las concepciones didácticas de los futuros maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 149-166.
- Mellado, V., Blanco, L.J., Borrachero, A.B., y Cárdenas, J.A. (2012). *Las emociones en la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias y las Matemáticas*. DEPROFE.
- National Research Council (2000). *How people learn: Brain, mind, experience and school*. Washington D.C.: National Academy Press. Recuperado de: <http://www.nap.edu/catalog/9853/how-people-learn-brain-mind-experience-and-school-expanded-edition>, 15 de julio de 2016.
- Opfer, V.D., y Pedder, D. (2011). Conceptualizing teacher professional learning. *Review of Educational Research*, 81(3), 376-407.
- Pavón, F., y Martínez-Aznar, M.M. (2014). La Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI): una propuesta indagativa para desarrollar la competencia científica en alumnos que cursan un programa de diversificación. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 469-492.
- Pilitsis, V., y Duncan, R.G. (2012). Changes in belief orientations of preservice teachers and their relation to inquiry activities. *Journal of Science Teacher Education*, 23(8), 909-936.
- Porlán, R., Martín del Pozo, R., Rivero, A., Harres, J., Azcárate, P., y Pizzato, M. (2010). El cambio del profesorado de ciencias I: Marco teórico y formativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 31-46.
- Prince, M., y Felder, R. (2007). The many faces of inductive teaching and learning. *Journal of College Science Teaching*, 36(5), 14-20.

- Rodríguez-Arteche, I., y Martínez-Aznar, M.M. (En prensa). Introducing inquiry-based methodologies during initial secondary education teacher training using an open-ended problem about chemical change. *Journal of Chemical Education*.
- Roehrig, G.H., y Luft, J.A. (2004). Constraints experienced by beginning secondary science teachers in implementing scientific inquiry lessons. *International Journal of Science Education*, 26(1), 3-24.
- Vázquez, B., Jiménez, R., y Mellado, V. (2007). La reflexión en profesoras de ciencias experimentales de enseñanza secundaria. Estudio de casos. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(1), 73-90.
- Vázquez, B., Jiménez, R., y Mellado, V. (2010). Los obstáculos para el desarrollo profesional de una profesora de enseñanza secundaria en ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 417-432.
- Walker, A., y Leary, H. (2009). A problem based learning meta analysis: Differences across problem types, implementation types, disciplines, and assessment levels. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 3(1), 12-43.
- Windschitl, M., Thompson, J., y Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.

ANEXO

Guion semiestructurado de la entrevista a los futuros profesores de física y química

1. Desde el punto de vista de futuro profesor, ¿qué ventajas, desventajas, potencialidades, posibilidades de aplicación le ves a la MRPI, la metodología indagativa trabajada en las asignaturas de didáctica?
2. ¿Cómo relacionas la MRPI con el aprendizaje de conocimientos, capacidades y actitudes?
3. ¿Cómo crees que sería la acogida de la MRPI por parte del alumnado de Educación Secundaria?
4. En las asignaturas se han ejemplificado Unidades Didácticas basadas en la resolución de secuencias de problemas abiertos, en grupos cooperativos. ¿Cómo valoras la implementación de este tipo de propuestas en Secundaria?
5. ¿Crees que la MRPI es transferible a otros contextos distintos a los ejemplificados (otras asignaturas, problemas de "lápiz y papel"...)?
6. ¿Qué opinión te merece el que no se utilicen *guiones* en las actividades experimentales?
7. ¿Cómo explicarías el *papel del profesor* durante la MRPI?
8. Supón que tienes que desarrollar en el aula una parte del currículo de física y química. ¿Cómo lo harías? ¿Cómo describirías tu trabajo y el de tus alumnos?
9. Si tuvieras que implementar la MRPI en el aula, ¿te sentirías cómodo?
10. En definitiva, ¿qué papel crees que va a tener la MRPI en tu futuro profesional?

**Contraposición de ideas sobre la indagación
entre futuros profesores y estudiantes de secundaria**

Contraposición de ideas sobre la indagación entre futuros profesores y estudiantes de secundaria

Iñigo Rodríguez Arteche, M^a Mercedes Martínez Aznar

*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Educación–C.F.P.,
Universidad Complutense de Madrid*

Se analiza la percepción sobre la aplicabilidad de la indagación en Educación Secundaria por parte de un grupo de estudiantes del Máster en Formación del Profesorado. Para promover el aprendizaje sobre la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI), los futuros profesores resuelven una serie de problemas abiertos escolares de química, y responden un cuestionario Likert sobre las fortalezas y debilidades percibidas en esta metodología. Los resultados se comparan con las opiniones de distintos grupos de alumnos de ESO y Bachillerato que han trabajado de forma habitual con la MPRI en sus clases de ciencias. Los futuros profesores manifiestan una visión ambivalente sobre la MRPI, que resulta más negativa en términos estadísticos que la de los escolares.

Palabras clave: formación inicial del profesorado, indagación, Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI).

OBJETIVOS

Se plantean dos preguntas de investigación referentes a la visión sobre la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI):

- ¿Cuáles son las creencias de los futuros profesores respecto a la aplicabilidad de la MRPI en Educación Secundaria, al término de la asignatura de didáctica de la química?
- ¿Cuál es la relación entre las percepciones de los futuros profesores y las de diversos estudiantes de Secundaria que han trabajado con la MRPI?

MARCO TEÓRICO Y CONTEXTO

Hoy en día, existe un amplio consenso sobre la conveniencia de utilizar *metodologías indagativas* (IBSE, Inquiry-Based Science Education) en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Estos métodos involucran al alumno en una actividad coherente con la propia investigación científica, que abarca múltiples capacidades (modelización, emisión de hipótesis, argumentación, control de variables...) para afrontar, de forma creativa, retos que demandan su implicación activa (Windschitl, 2003; Bárcena, 2015). Las razones para apoyar la indagación son diversas, y van desde la promoción de un aprendizaje persistente o el desarrollo de actitudes favorables hacia la ciencia, hasta la motivación hacia el trabajo en las aulas escolares (Ibáñez, 2003; Rosa, 2016).

Sin embargo, estas metodologías demandan un rol exigente del profesorado, que debe proporcionar un *andamiaje* a los alumnos para favorecer sus aprendizajes (Rodríguez-Arteche y Martínez-Aznar, 2016). Además, la reducida implementación en las aulas que de hecho presentan los métodos IBSE se relaciona con una serie de creencias docentes,

como el suponer que es incompatible con los requisitos curriculares o que no favorece el aprendizaje conceptual –ideas recogidas en Bárcena (2015)–.

Por estos motivos, resulta necesario que desde la formación inicial se ofrezcan oportunidades de aprendizaje a través de actividades escolares innovadoras, para que los participantes puedan asumir el rol de sus futuros estudiantes y vayan conociendo los rasgos de un modelo didáctico *alternativo* (Porlán et al., 2010).

Este artículo se vincula al trabajo de los estudiantes del Máster en Formación del Profesorado de Secundaria (MFPS) en la asignatura de Didáctica de la Química. En ella, los futuros profesores deben resolver una secuencia de problemas abiertos escolares sobre el cambio químico, para promover su aprendizaje y reflexión sobre la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación –MRPI– (Gil y Martínez-Torregrosa, 1983), una metodología indagativa cuyas fases –como orientación flexible para las resoluciones– se muestran en la Figura 1. La estructura de la asignatura y las características de las situaciones problemáticas pueden consultarse en Martínez-Aznar, Rodríguez-Arteche y Gómez-Lesarri (2017) y en Rodríguez-Arteche y Martínez-Aznar (2016).

De esta forma, con el presente artículo se pretende recabar la visión final del futuro profesorado sobre la aplicabilidad de la MRPI en Educación Secundaria y, aprovechando los resultados obtenidos por nuestro equipo de investigación, compararla con las opiniones de cuatro grupos de ESO y Bachillerato que han trabajado de forma habitual con la MRPI.



Figura 1. Representación de las fases de la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI). Adaptado de Pavón & Martínez-Aznar (2014)

METODOLOGÍA

Muestra de estudio

Se cuenta con 24 estudiantes de la especialidad de física y química del MFPS de la UCM (13 mujeres y 11 hombres, edad media de 27.6 años). Son aquéllos del grupo-clase 2015/16 que asisten a todas las sesiones dedicadas a la resolución de problemas abiertos sobre química escolar.

Además, se recurre a los resultados previos de 4 grupos de Educación Secundaria que a lo largo de un curso han trabajado de forma habitual con la MRPI (Varela, 1994; Bárcena, 2015; Rosa, 2016; Ibáñez, 2003), cuyas características se muestran en la Tabla 1.

Investigación	VARELA (1994)	BÁRCENA (2015)*	ROSA (2016)	IBÁÑEZ (2003)
Asignatura y curso	Física (3º BUP) ~1º Bachillerato	Química 1º Bachillerato	Biología 2º ESO	Biología 4º ESO
Temática	Mecánica. Electricidad	Reacciones químicas	Ecología	Genética
Centro escolar	IES Rey Pastor	1) IES Doctor Marañón 2) IES Europa	IES Gabriel García Márquez	IES El Carrascal
Nº de estudiantes	36	1) 28 2) 30	28	30

* La investigación de Bárcena (2015) consta de dos fases. Participan dos grupos en años consecutivos

Tabla 1. Grupos de Secundaria de la Comunidad de Madrid que a lo largo de un curso utilizan la MRPI de forma habitual

Recogida y análisis de datos

Se parte de un cuestionario tipo Likert validado en la investigación de Varela (1994), que consta de 12 ítems (escala 1–5, desacuerdo/acuerdo) referentes al sujeto que aprende, las características de la tarea, la metodología y papel del profesor, y la transposición a otras materias. Los cuatro grupos de Secundaria responden el cuestionario al concluir su trabajo con la MRPI.

Para obtener la visión de los estudiantes del Máster, el cuestionario mencionado se adapta ligeramente. Así, se obtiene una nueva versión de 14 ítems, con 10 de ellos directamente comparables a la versión previa. Los futuros profesores responden este cuestionario al término de la Didáctica de la Química, obteniéndose un Alfa de Cronbach de valor 0.847, que indica una fiabilidad elevada del instrumento.

La *primera pregunta de investigación* se responde a través de un análisis estadístico descriptivo, mientras que para abordar la *segunda pregunta de investigación*, las respuestas del futuro profesorado se comparan sucesivamente con los cuatro grupos de Secundaria. Se utiliza la prueba *U* de Mann-Whitney para identificar diferencias significativas, considerando como hipótesis nula que los grupos son homogéneos en sus creencias (se rechaza cuando $p < 0.05$).

RESULTADOS

Este apartado se organiza según las preguntas de investigación planteadas.

Primera pregunta de investigación

La Tabla 2 muestra la percepción de los futuros profesores sobre la metodología indagativa trabajada (MRPI), organizada según las dimensiones de alumno, currículo, profesor –metodología– y transposición a otros contextos.

«Visión sobre la aplicabilidad de la MRPI a Ed. Secundaria»		Mediana	Media	Desv. típ.
ALUMNO	C1. La MRPI puede resultar una tarea interesante	4	3.54	0.64
	C2. La MRPI puede resultar una tarea fácil	2	1.88	0.97
	C3. La MRPI es adecuada para afrontar problemas de motivación del alumnado	3	2.88	0.93
	C4. Con las estrategias de resolución de problemas de la MRPI, el alumnado se sentirá más capacitado para intentar resolver otros problemas que en principio le resulten desconocidos	4	3.83	1.18
	C5. El trabajo habitual con la MRPI aumentará la autoconfianza del alumnado para resolver problemas	4	3.50	1.12
CURRÍCULO	C6. La MRPI ayuda a aprender conceptos de química	4	3.46	1.08
	C7. La MRPI ayuda en la familiarización con procedimientos científicos de trabajo	4	3.92	0.76
	C8. La MRPI ayuda a resolver problemas cerrados (del tipo de los que aparecen en los libros de texto)	2	2.38	0.99
	C9. El trabajo habitual con la MRPI abre nuevas perspectivas e interés sobre qué es la química o las ciencias en general	4	3.71	0.73
PROFESOR	C10. El papel del profesor durante la resolución de problemas abiertos mediante la MRPI es muy relevante	4	3.63	1.15
	C11. El tipo de metodología propuesta en Didáctica de la Química sobre la resolución de problemas abiertos mediante la MRPI es adecuada	3	3.29	0.98
TRANSPOSICIÓN	C12. La forma de resolver problemas abiertos de química con la MRPI ayudará al alumnado a resolver situaciones de su vida cotidiana (salud, consumo, familia...)	3	3.38	0.99
	C13. Los procedimientos de trabajo de la MRPI serán útiles para la resolución de <i>problemas experimentales</i> de otras materias (física, biología...)	4	3.58	1.11
	C14. Los procedimientos de trabajo de la MRPI serán útiles para la resolución de problemas de “ <i>lápiz y papel</i> ” (en química, física, matemáticas...)	2	2.54	1.00

Tabla 2. Respuestas del futuro profesorado de física y química al cuestionario Likert (1–5)

La revisión de la tabla muestra que en 7 de las 14 cuestiones las puntuaciones otorgadas por los futuros profesores son superiores a 3.50, aspecto que puede considerarse positivo. Sin embargo, también se observa cómo perciben algunas debilidades en esta metodología, lo que refleja una visión ambivalente. Así, los futuros profesores destacan que la MRPI contribuiría positivamente al desarrollo de procedimientos científicos (c7) y

actitudes favorables hacia la ciencia (c9), pero a su vez señalan como debilidades de la MRPI su dificultad (c2), y su escasa contribución a la resolución de «actividades cerradas» (c8).

Segunda pregunta de investigación

La Tabla 3 muestra las puntuaciones medias obtenidas en cada grupo de estudiantes, y los casos donde se detectan diferencias significativas.

	MÁSTER F/Q #	Física 1ºBach.	Química 1ºBach.	Biología 2ºESO	Biología 4ºESO
C1. La MRPI me parece una tarea interesante	3.54	3.87	3.36	**4.11 ✓	3.80
C2. La MRPI me resulta una tarea fácil	1.88	**2.73 ✓	**2.50 ✓	***3.79 ✓	**2.50 ✓
C4. Con las estrategias de resolución de problemas de la MRPI, me siento más capacitado para intentar resolver otros problemas que en principio me resultan desconocidos	3.83	3.58	3.79	3.86	3.93
C5. El trabajo realizado con la MRPI ha aumentado mi autoconfianza para resolver problemas	3.50	3.53	3.52	4.00	3.90
C6. La MRPI me ayuda a aprender conceptos de ciencias	3.46	*4.14 ✓	*4.02 ✓	3.79	**4.40 ✓
C7. La MRPI me ha ayudado a familiarizarme con procedimientos más científicos de trabajo	3.92	3.86	3.57	3.50	3.70
C8. La MRPI me ayuda a resolver problemas cerrados (del tipo de los que aparecen en el libro de texto)	2.38	***4.11 ✓	***3.71 ✓	***3.61 ✓	***3.67 ✓
C9. La forma en que trabajamos con la MRPI me ha abierto nuevas perspectivas e interés sobre qué es la Ciencia	3.71	3.77	3.59	*4.14 ✓	3.57
C11. La metodología con que se han desarrollado las clases de la asignatura (resolución de problemas abiertos) me ha parecido adecuada	3.29	***4.30 ✓	3.52	***4.39 ✓	*3.93 ✓
C12. La forma de resolver problemas abiertos con la MRPI me puede ayudar a resolver situaciones de la vida cotidiana (salud, consumo, familia...)	3.38	3.01	**2.50 ✕	**2.43 ✕	**4.20 ✓

Se indican las diferencias estadísticamente significativas: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

(✓) indica creencias más favorables hacia la MRPI por parte de los escolares; (✕) representa el caso contrario

Tabla 3. Comparación entre la visión de los escolares y los futuros profesores sobre la MRPI (puntuaciones medias)

La tabla señala 19 diferencias estadísticamente significativas entre las creencias de los escolares y las de los futuros profesores, siendo 17 de ellas favorables a los primeros (al margen de la asignatura y el nivel educativo, su percepción es más positiva).

Así, se detectan cuatro aspectos fundamentales donde los escolares valoran de forma más positiva la MRPI. Estas cuestiones corresponden a la dificultad de la MRPI (c2), su utilidad para afrontar actividades de naturaleza cerrada (c8), la promoción del aprendizaje de conceptos (c6) y la valoración general sobre la metodología (c11).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La revisión de los resultados para las dos preguntas de investigación, sugiere que el futuro profesorado se posiciona de forma excesivamente crítica en el papel de los escolares al resolver actividades indagativas. A raíz del trabajo en la asignatura de Didáctica de la Química, los participantes comienzan conocer en primera persona las características de un modelo de enseñanza-aprendizaje *alternativo*, al que no están acostumbrados (Porlán et al., 2010), y lo valoran positivamente en muchos de sus rasgos (ver Tabla 2). De la misma forma, en esta primera etapa formativa, los resultados obtenidos apuntan a varios *obstáculos* para la aplicación de la MRPI por parte de los futuros profesores:

- Considerar el trabajo con la MRPI como muy costoso para el alumnado de Secundaria, lo que podría jugar en contra de su capacidad motivadora.
- Defender una distinción clásica entre aprendizaje de conceptos, problemas de aplicación y realización de «prácticas», debido a su excesiva exposición previa a un modelo de enseñanza tradicional.

Por ello, los resultados del artículo señalan la necesidad de reforzar el aprendizaje sobre la indagación en la propia asignatura de Didáctica de la Química, y desde otras materias del módulo específico del Máster. En sentido, presentar a los futuros profesores resultados como los de la Tabla 3, y los de otras investigaciones que revelen la percepción positiva de la indagación por parte de los escolares, podría resultar una actividad de interés. Además, el periodo del Practicum constituye una oportunidad excelente para que, con la ayuda de tutores y mentores, el futuro profesorado pruebe el efecto “real” de la indagación en el aprendizaje, y su acogida por parte de los estudiantes de Secundaria (Windschitl, 2003).

REFERENCIAS

- Bárcena, A.I. (2015). *Estudio de la influencia de una metodología investigativa de resolución de problemas en el aprendizaje de la química en alumnos de bachillerato*. Tesis Doctoral: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/30524/>
- Gil-Pérez, D., Martínez-Torregrosa, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4), 447–455.
- Ibáñez, M.T. (2003). *Aplicación de una metodología de resolución de problemas como una investigación para el desarrollo de un enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad en el currículo de biología de educación secundaria*. Tesis Doctoral: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/4635/>

- Martínez-Aznar, M.M., Rodríguez-Arteche, I. & Gómez-Lesarri, P. (2017). La resolución de problemas profesionales como referente para la formación inicial del profesorado de física y química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 162–180.
- Porlán, R., Martín del Pozo, R., Rivero, A., Harres, J., Azcárate, P. & Pizzato, M. (2010). El cambio del profesorado de ciencias I: marco teórico y formativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 31–46.
- Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (2016a). Introducing Inquiry-Based Methodologies during Initial Secondary Education Teacher Training Using an Open-Ended Problem about Chemical Change. *Journal of Chemical Education*, 93(9), 1528–1535.
- Rosa, D. (2016). *Desarrollo de una propuesta didáctica sobre contenidos de ecología en 2º de ESO a partir de situaciones problemáticas abiertas*. Tesis Doctoral: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/40345/>
- Varela, P. (1994). *La resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias. Aspectos didácticos y cognitivos*. Tesis Doctoral: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/2240/>
- Windschitl, M. (2003). Inquiry Projects in Science Teacher Education: What Can Investigative Experiences Reveal about Teacher Thinking and Eventual Classroom Practice? *Science Education*, 87(1), 112–143.

Artículo 8

La visión sobre la indagación en la formación inicial del profesorado de física y química

La visión sobre la indagación en la formación inicial del profesorado de física y química

Iñigo Rodríguez Arteche, M^a Mercedes Martínez Aznar

*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Educación–C.F.P.,
Universidad Complutense de Madrid*

Se analiza si la visión final de futuros profesores sobre la aplicabilidad de una metodología indagativa (MRPI) en Educación Secundaria está condicionada por sus creencias profesionales, sus titulaciones iniciales y sus logros al resolver problemas abiertos. Los resultados indican la existencia de diferencias significativas en relación con sus creencias.

Palabras clave: Formación inicial de profesores de física y química, indagación, resolución de problemas, creencias profesionales.

CONTEXTO Y MARCO TEÓRICO

Los llamados *métodos indagativos* (IBSE, inquiry-based science education), que comparten el estar centrados en el alumno y asumir el aprendizaje como construcción de conocimiento, están recibiendo un amplio respaldo de la investigación educativa. Entre sus potencialidades se destaca el aumento de comprensión conceptual, el aprendizaje de capacidades científicas y la promoción del interés por la Ciencia (Minner, Levy & Century, 2010). Sin embargo, debido al contraste que suponen en relación con la práctica escolar tradicional, existe una cierta resistencia del profesorado a aplicarlos.

Estos métodos implican un cambio de roles (los alumnos marcan las pautas para resolver ciertos retos, y el profesor actúa como guía), por lo que el profesorado puede considerarlos como difíciles de gestionar, incompatibles con los currículos o inadecuados para abordar los contenidos conceptuales (Edelson, Gordin & Pea, 1999). Es por ello que los programas de formación inicial del profesorado deben incluir la indagación de forma activa, como condición necesaria (aunque no suficiente) para posibilitar su transferencia a la escuela.

Este trabajo, que es parte de una investigación más amplia, pretende contribuir a esta finalidad ya que se ha realizado en el contexto de varias asignaturas que pretenden promover la formalización de *modelos didácticos* constructivistas, como contrapunto al modelo tradicional o transmisivo-receptivo (Fernández-González, Elortegui, Rodríguez-García & Moreno-Jiménez, 2001). De esta forma, bajo un enfoque de resolución de problemas profesionales, las asignaturas de Didáctica de la Física y Didáctica de la Química del Máster en Formación del Profesorado de Educación Secundaria (MFPS) introducen una metodología de tipo Problem-Based Learning: la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI). Este método indagativo ha demostrado su utilidad para la adquisición de la competencia científica, y su aplicabilidad a diferentes contextos y niveles (Bárcena, 2015). Así, la MRPI es un heurístico de 5 fases diseñado para resolver problemas abiertos y contextualizados en grupos cooperativos, e incluye las siguientes dimensiones competenciales: 1. *Análisis cualitativo del problema*; 2. *Emisión de hipótesis*; 3. *Diseño de estrategias de resolución*; 4. *Desarrollo y resolución del problema*; 5. *Análisis de resultados*.

Para la introducción de la MRPI se consideró la necesidad de que los futuros profesores vivieran experiencias de aprendizaje mediante esta metodología (guiadas por los profesores de didáctica), para favorecer su reflexión. Por ello, se requirió que resolvieran secuencias de problemas abiertos escolares, sobre cambios físicos y químicos, óptica, etc. Así, el presente trabajo pretende analizar su visión final sobre la MRPI, y su dependencia con ciertas variables.

OBJETIVOS

Nos planteamos las siguientes *preguntas de investigación* en relación con los futuros profesores:

1. ¿Existen diferencias significativas en su visión sobre la aplicabilidad de la MRPI (la metodología indagativa considerada) en Educación Secundaria dependientes del carácter de sus creencias?
2. ¿Está condicionada su visión sobre la MRPI por sus resultados académicos en la resolución de problemas abiertos mediante esta metodología?
3. ¿Existen diferencias significativas en la percepción sobre la MRPI dependientes de la titulación inicial de los futuros profesores?

METODOLOGÍA

Muestra

El estudio se ha realizado durante el curso 2015/16 con un grupo-clase de 24 estudiantes para las asignaturas de Didáctica de la Física y Didáctica de la Química del MFPS de la Universidad Complutense de Madrid (13 mujeres y 11 hombres; 10 químicos, 8 físicos y 6 estudiantes con otras titulaciones: 2 ingenieros industriales, 1 ingeniero civil, 1 arquitecto y 2 graduados en ciencia y tecnología de los alimentos).

Instrumentos de recogida de datos

Para estudiar el efecto en la visión sobre la MRPI (variable dependiente) de sus creencias profesionales, resultados en resolución de problemas y titulaciones (variables independientes), se han requerido los siguientes instrumentos:

- A. Cuestionario de visión sobre la aplicabilidad de la MRPI. Este instrumento tipo Likert con escala 1–5 se cumplimenta al término de las asignaturas, y es una adaptación de la versión utilizada en otros trabajos del grupo de investigación (Bárcena, 2015). Incluye 14 cuestiones sobre el alumnado (*p.ej.*, “La MRPI es adecuada para afrontar problemas de motivación del alumnado”), el currículo (*p.ej.*, “La MRPI ayuda a aprender conceptos de Física y Química”), el profesorado (*p.ej.*, “El tipo de metodología propuesta en las asignaturas sobre la resolución de problemas abiertos con la MRPI es adecuada”) y la transposición de la MRPI (*p.ej.*, “Los procedimientos de trabajo de la MRPI serán útiles para la resolución de problemas de *lápiz y papel*”).
- B. Cuestionario de creencias profesionales. Este cuestionario tipo Likert (escala 1–5) cumplimentado al concluir las asignaturas consta de 30 ítems, seleccionados de

una propuesta validada de nuestra Universidad (Martínez-Aznar et al., 2001). Aborda las dimensiones de contenidos, metodología, evaluación y percepción profesional y, siguiendo recomendaciones metodológicas, está elaborado como una dicotomía entre los modelos tradicional y constructivista.

- C. Informes sobre los problemas abiertos y su evaluación. Los resultados de los estudiantes de máster sobre su resolución de los problemas se han obtenido a partir de sus producciones escritas individuales. Cada una de las cinco dimensiones competenciales de la MRPI se ha categorizado en niveles de logro que van desde niveles 0 (aportaciones irrelevantes) hasta niveles 4 (aportaciones muy satisfactorias), de forma similar a otros estudios del grupo de investigación (Bárcena, 2015).

Técnicas de análisis de datos

La muestra se ha subdividido en dos subgrupos, de acuerdo a las variables independientes sobre «creencias» (mayor o menor puntuación asignada al modelo didáctico constructivista en el instrumento B) y sus resultados globales en la resolución de problemas abiertos (mayores o menores niveles de logro en sus informes). Para el análisis de la posible relación entre la visión sobre la MRPI y las titulaciones, se han considerado los subgrupos «físicos», «químicos» y «otras titulaciones», que se compararán de *dos a dos*. En todos estos casos la variable a comparar será la puntuación más o menos favorable hacia la MRPI obtenida en el cuestionario de visión sobre su aplicabilidad (instrumento A), y se considerará tanto la globalidad de los ítems como las cuatro dimensiones por separado. Para este propósito, se ha recurrido al Test de la *U* de Mann-Whitney, cuya hipótesis nula es que “no existen diferencias estadísticamente significativas entre los subgrupos”, y que se rechazará para $p < 0.05$ (nivel de confianza del 95 %).

RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los valores del estadístico *U* para las pruebas realizadas sobre las tres preguntas de investigación, distinguiéndose las comparaciones para el cuestionario *global* y las correspondientes a sus cuatro dimensiones (instrumento A).

Pregunta #	Alumno	Currículo	Profesor	Transposición	Global
1	43.000	^A 34.500 *	^A 36.000 *	^A 29.000 *	^A 31.000 *
2	71.000	60.500	67.000	60.500	61.500
3a	27.500	23.500	35.000	26.000	24.000
3b	21.500	15.000	18.500	9.500	15.000
3c	22.000	26.000	26.000	25.500	28.500

Para las preguntas de investigación 1 y 2, $n_1 = n_2 = 12$; en 3a se comparan los físicos ($n = 8$) y químicos ($n = 10$), en 3b los físicos y «otros» ($n = 6$) y en 3c los químicos y «otros».

^A La diferencia es favorable a los estudiantes con creencias más constructivistas

Tabla 1. *U* de Mann-Whitney para las pruebas realizadas. Las diferencias estadísticamente significativas están en negrita ($*p < 0.05$)

Según muestra la tabla, no existen diferencias estadísticamente significativas en la visión sobre la aplicabilidad de la MRPI en relación con los resultados obtenidos para la solución de problemas abiertos con esta metodología (pregunta 2), ni entre los subgrupos

correspondientes a distintas titulaciones iniciales (pregunta 3). Sin embargo, se constatan diferencias significativas dependientes de las creencias profesionales de los futuros profesores. En este sentido, los participantes más próximos al modelo didáctico constructivista valoran de forma significativamente más positiva la aplicabilidad de la MRPI a secundaria, salvo en la dimensión sobre el *alumnado*. Esta última dimensión engloba ítems sobre el interés que despierta este tipo de tareas, su dificultad para el alumnado y aspectos emocionales implicados (motivación y autoconfianza), cuestiones quizás menos configuradas a lo largo de su formación universitaria previa.

En relación con el *currículo*, los estudiantes más cercanos al constructivismo valoran de forma más positiva la utilidad de la MRPI para el aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes. Igualmente, en relación con la relevancia del papel del *profesor* en la MRPI, y sobre la adecuación de la metodología propuesta, la diferencia significativa es favorable a los futuros profesores más vinculados al modelo constructivista. Además, la situación se repite en lo relativo a la *transposición* de la metodología a otros contextos, como otras asignaturas, o problemas de “lápiz y papel” (en esta última dimensión, las diferencias entre los dos subgrupos son las mayores).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos guardan semejanza con el análisis de autores como Tsai (2006) que indica que el profesorado con creencias *tradicionales* más arraigadas difícilmente se inclinará por utilizar la indagación en sus clases. Por este motivo, creemos necesario demandar más oportunidades para trabajar la indagación en la formación inicial (en otras asignaturas, en el Practicum, etc.), de forma que estas “resistencias” puedan superarse (al menos, parcialmente).

REFERENCIAS

- Bárcena, A.I. (2015). *Estudio de la influencia de una metodología investigativa de resolución de problemas en el aprendizaje de la química en alumnos de bachillerato*. Tesis Doctoral: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/30524/>
- Edelson, D.C., Gordin, D.N. & Pea, R.D. (1999). Addressing the Challenges of Inquiry-Based Learning through Technology and Curriculum Design. *The Journal of Learning Sciences*, 8(3-4), 391-450.
- Fernández-González, J., Elortegui, N., Rodríguez-García, J.F. & Moreno-Jiménez, T. (2001). *Modelos didácticos y enseñanza de las ciencias*. Tenerife: Centro de la Cultura Popular Canaria.
- Martínez-Aznar, M.M., Martín del Pozo, R., Rodrigo, M., Varela, P., Fernández-Lozano, M.P. & Guerrero-Serón, A. (2001). ¿Qué pensamiento profesional y curricular tienen los futuros profesores de ciencias de Secundaria? *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 67-87.
- Minner, D.D., Levy, A.J. & Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction. What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496.
- Tsai, C.C. (2006). Reinterpreting and reconstructing science: Teachers' view changes toward the nature of science by courses of science education. *Teaching and Teacher Education*, 22(3), 363-375.

Capítulo 7

Discusión Global de los Resultados

7. DISCUSIÓN GLOBAL DE LOS RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos en los distintos *artículos* de los capítulos 4–6, se presenta una reelaboración de los mismos que promueve interrelaciones y resultados globales. Esta posibilidad es un rasgo identificativo y muy ventajoso de esta modalidad de tesis doctoral: por una parte, cada estudio se presenta en un formato –revista– que permite su lectura independiente, y por otra, se requiere un esfuerzo de discusión general y síntesis que potencie la unidad temática de la investigación y enriquezca sus resultados. La discusión del capítulo se organiza según las dos preguntas de investigación formuladas: la primera, acerca del efecto general de la propuesta formativa en los participantes; la segunda, en relación a los aprendizajes sobre las características de la MRPI –un ejemplo de método indagativo– y al desarrollo de la competencia científica a través de esta metodología.

7.1. Resultados globales en relación con la primera pregunta de investigación

La primera pregunta de investigación se formula como: «¿Cuál es el efecto de una propuesta formativa para las asignaturas de didácticas específicas en un grupo de futuros profesores de física y química?». Su discusión se organiza a través de los tres objetivos generales –capítulo 3– correspondientes a esta cuestión.

7.1.1. Objetivo 1: Síntesis de las características de la propuesta formativa para las asignaturas de didáctica

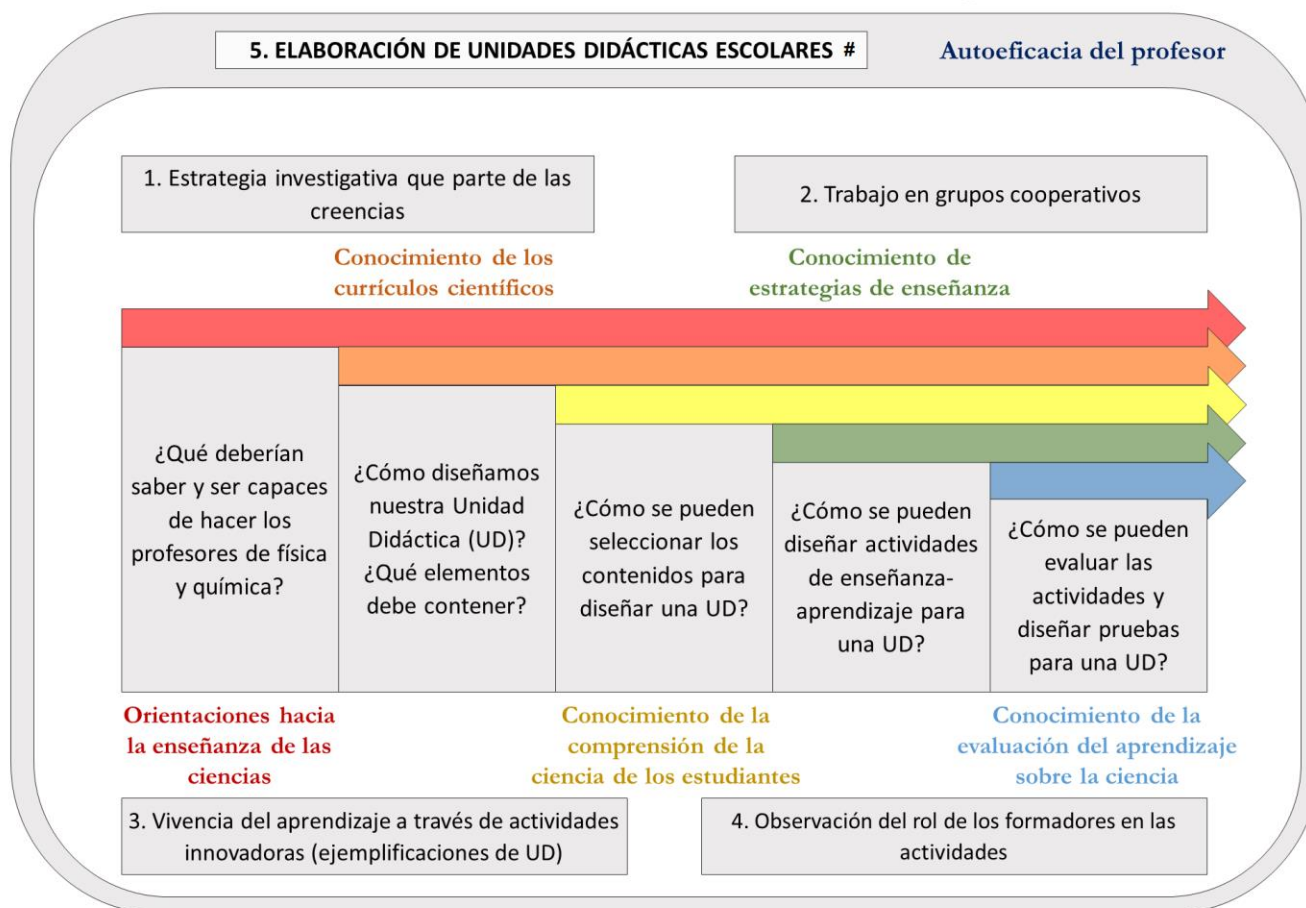
Este objetivo, enunciado como: «Justificar los componentes del programa formativo de didácticas específicas orientado a favorecer la construcción de Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC)», se desarrolla en el Artículo 1 (Martínez-Aznar, Rodríguez-Arteche & Gómez-Lesarri, 2017).

El programa formativo para las asignaturas de Didáctica de la Química y de la Física (implementado en los cursos 2014/15 y 2015/16), se articula sobre la resolución de problemas profesionales relacionados con la elaboración de Unidades Didácticas –el proyecto final del curso–. De esta forma, se sigue una metodología activa de tipo *Problem/Project-Based Learning* (Hall, Palmer & Bennett, 2012; Prince & Felder, 2006), en clara correspondencia con los métodos propugnados para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias en Educación Secundaria (Rocard et al., 2007; Stage, Asturias, Cheuk, Daro & Hampton, 2013). Esto se considera fundamental para evitar una percepción de irrelevancia o idealismo sobre las propuestas metodológicas planteadas en las asignaturas (Loughran, Mulhall & Berry, 2008), y va en la línea del conocido *principio de isomorfismo* (Ezquerro et al., 2016; Martín del Pozo & Rivero, 2001), que indica que si en la propia formación del

profesorado se siguen estrategias coherentes con las defendidas para la escuela, será más factible que los futuros profesores se inclinen por aplicarlas en su práctica.

Los problemas profesionales del programa muestran una correspondencia clara con las categorías del CDC propuestas en el modelo hexagonal de Park y Oliver (2008) –Figura 2.3, pág. 32– y, por ello, se consideran adecuados para promover un conocimiento útil para el futuro profesorado. La Figura 7.1 representa el trabajo integrado sobre los componentes del CDC desde las asignaturas, introducidos de forma escalonada pero con la finalidad global de permitir el diseño de Unidades Didácticas escolares, lo que conlleva su interacción. Además, la figura recoge los 5 «principios formativos» de carácter general descritos en Martínez-Aznar et al. (2017), asumidos como herramientas de reflexión en la construcción inicial de CDC y como elementos para favorecer el aprendizaje escolar.

Construcción de Conocimiento Didáctico del Contenido en las asignaturas de didáctica



Los 5 principios de la propuesta para fomentar la reflexión aparecen recuadrados

Figura 7.1. Construcción inicial de CDC a través de la resolución de problemas profesionales vinculados a sus componentes

En este momento, resulta oportuno recuperar las ideas expuestas en el marco teórico (sección 2.3) acerca del CDC «indispensable» o «canónico» (Park & Suh, 2015; Smith &

Banilower, 2015), por una parte, y los componentes del conocimiento profesional docente, por otra.

La primera de estas ideas sugiere que, a pesar de los diferentes contextos para llevar a cabo la enseñanza de una temática específica –centro, estudiantes, características personales del profesor, etc.– (Garritz, 2013), una parte importante del CDC sería aplicable a cualquier profesor en cualquier contexto docente (Park & Suh, 2015); esta parte sería el CDC *indispensable* o *canónico*. En esta línea, la Figura 7.1 refleja la ejemplificación de Unidades Didácticas (UD) por parte de los formadores, UD que requieren que los futuros profesores resuelvan diversas actividades como forma de reflexión sobre el aprendizaje escolar. Con estos elementos, la propuesta pretende contribuir a la construcción de un CDC útil para los estudiantes del Máster, sobre temáticas como la electricidad y la energía electromagnética, las ondas y la óptica, la materia o los cambios físicos y químicos (Martínez-Aznar et al., 2017). Además, el aspecto del *cambio* corresponde a una de las ideas conocidas como «estructurantes» de la ciencia escolar (MECD, 2015b) –“big ideas” (Harlen et al., 2015) o “crosscutting concepts” (Stage et al., 2013)–, asociadas a conceptos centrales en la materia cuya construcción promueve una mayor relación entre los conocimientos y su comprensión más global (Aguilar, 2013; Gagliardi, 1986).²⁵

Por otra parte, la Figura 7.1 también recoge un principio formativo de orden superior como es el diseño de UD escolares. Con ello, se puede abordar un mayor número de contenidos curriculares que necesitaría un profesor de ciencias en formación inicial (Magnusson et al., 1999), pues el «Modelo para la Elaboración de UD» (Martínez-Aznar et al., 2013) aporta un marco reflexivo para afrontar contenidos diferentes a los ejemplificados por los formadores (Zemba-Saul et al., 2000), a través del contraste de propuestas y concepciones (Pontes et al., 2015; Porlán et al., 2011). Además, una parte importante de este análisis tendrá que ver con la percepción de autoeficacia de los futuros profesores –el componente del CDC propuesto por Park y Oliver (2008)–, en el sentido de que los estudiantes difícilmente se decidirán a incorporar a sus UD estrategias o actividades con las que se sientan incómodos, o que les cueste defender en la exposición oral de sus propuestas (Martínez-Aznar et al., 2017).

De este modo, el programa formativo persigue contribuir a la construcción de conocimiento profesional, no solo en términos curriculares (contenidos escolares, estrategias didácticas o evaluación), sino también en el ámbito de la percepción del profesor (aspectos asociados a su formación, influencia del docente en el rendimiento escolar, etc.). Este conjunto de dimensiones del pensamiento docente se investigan a través del cuestionario «Pensamiento Curricular y Profesional» (ver Anexo 1).

Para concluir este apartado sobre el primer objetivo, se considera conveniente introducir expresamente el *Modelo de Consenso del CDC* (Helms & Stokes, 2013; Kind, 2015). Este modelo engloba los resultados de la investigación sobre este constructo: el papel de

²⁵ El análisis para la *segunda pregunta* incluye el aprendizaje de los futuros profesores sobre los cambios físicos y químicos, abordándose las relaciones entre conceptos.

las creencias como mediadoras en la construcción del CDC y el conocimiento profesional docente, la dependencia mutua entre CDC y práctica de aula, el efecto de los resultados escolares en la transformación de los aspectos anteriores, etc.

Todo ello se recoge en la Figura 7.2, donde se destacan dos “rutas” que se ajustan perfectamente al proceso formativo seguido en las asignaturas de didáctica.

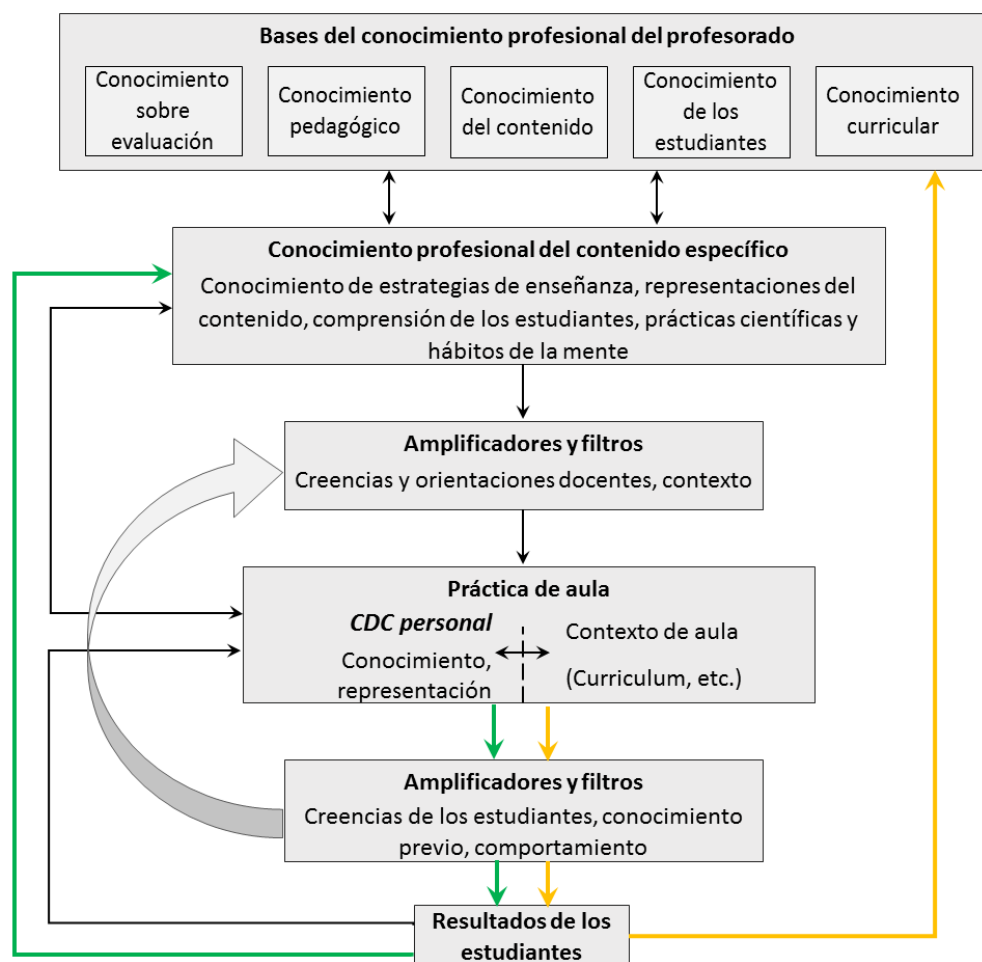


Figura 7.2. Modelo de Consenso del CDC en relación con las asignaturas. Traducido de Kind (2015)

1. La ruta señalada en *verde* busca contribuir a la construcción de CDC sobre distintas temáticas escolares, partiendo de las creencias y los conocimientos previos. Para ello, se trabaja con ejemplificaciones de Unidades Didácticas, buscando la reflexión de los participantes –que asumen el rol de alumnos de Secundaria– sobre su propio aprendizaje.
2. La ruta señalada en *naranja* pretende promover la adquisición de competencias docentes en un sentido amplio (pedagógicas, conocimiento curricular, sobre los estudiantes, acerca de la evaluación del aprendizaje...), aspectos a su vez implicados en el desarrollo de CDC. De este modo, por medio del análisis sobre los materiales escolares ejemplificados y del *diseño de Unidades Didácticas propias*, la propuesta busca fomentar la construcción de conocimiento profesional por parte de los futuros docentes.

En síntesis, como se sugiere en la Figura 7.2, la propuesta para las asignaturas de didáctica recurre a una estrategia investigativa donde los participantes asumen un doble rol: el de estudiantes (por medio de experiencias de aprendizaje escolares) y el de futuros profesores (a través de la elaboración de UD). Además, en todo este proceso la observación del rol de los formadores resulta una pieza clave para la reflexión y construcción de conocimiento profesional (Martínez-Aznar et al., 2017).

Las Figuras 7.1 y 7.2 suponen una síntesis del Artículo 1 de la tesis, y pueden resultar elementos útiles para interpretar los resultados sobre las creencias profesionales y el aprendizaje sobre y a través de la indagación de los futuros profesores. Este análisis se recoge en los siguientes objetivos.

7.1.2. Objetivo 2: Eficacia de la propuesta formativa a partir del cambio en las creencias profesionales

Este apartado se refiere al segundo objetivo de la investigación, enunciado como: «Comprobar la eficacia de la propuesta formativa en términos de evolución en las creencias profesionales de los futuros docentes». Para su consecución, debe retomarse el Artículo 5 de la tesis (inédito). Cabe recordar que los datos sobre las creencias profesionales se recaban a partir del uso como pretest y posttest²⁶ de un cuestionario validado de 30 ítems con escala de Likert 1–5, distribuidos según las siguientes categorías (ver Anexo 1): Contenidos, Metodología (Desarrollo de la enseñanza; Participación y adaptación al alumno), Evaluación y Percepción profesional (Del rendimiento escolar; De la formación del profesor). Además, por conveniencia metodológica (Martínez-Aznar, et al., 2001; Siddiquee & Ikeda, 2013; Woolley et al., 2004) se opta por enunciar los ítems según los dos modelos didácticos extremos, el *tradicional o transmisor* –como nivel de partida esperable para las creencias– y el *alternativo o constructivista* –como referente de un desarrollo profesional deseable– (Hamed et al., 2016).

Lo que ahora compete es profundizar en el análisis sobre los datos recogidos a través del cuestionario «Pensamiento Curricular y Profesional» y para ello, a partir de las creencias iniciales de los estudiantes del Máster:

- A) En primer lugar, se discute la eficacia de la propuesta a partir de distintas herramientas. Se considera un análisis estadístico global por dimensiones del cuestionario y otro individual para algunos ítems destacados.
- B) En segundo lugar, se investiga la posible relación entre las variables –¿qué modelos o agrupamientos en las creencias contemplan los participantes?– a partir de un escalamiento multidimensional de los datos y análisis de clúster (Álvarez et al., 2013; Pontes et al., 2016).

²⁶ La muestra la componen 52 futuros profesores que cursan las asignaturas de didáctica en dos cursos sucesivos (sus características se recogen en el capítulo 3).

C) En tercer lugar, se discuten las creencias donde la evolución es más dependiente de la muestra específica de estudiantes –promoción en la que se cursan las asignaturas, manteniéndose el programa y los formadores–.

A) Eficacia de la propuesta para las asignaturas de didáctica

Para analizar el impacto de la propuesta, conviene comenzar la discusión con el pretest (inicio de las asignaturas de didáctica). Aquí, el futuro profesorado parte de creencias mayoritariamente *tradicionales* en las dimensiones sobre Contenidos y Desarrollo de la enseñanza, *intermedias* para la Percepción del rendimiento escolar y la Evaluación, y *constructivistas* sobre la Participación y adaptación al alumno y la Percepción de la formación del profesor. Este hecho sugiere una clara incoherencia inicial en los modelos didácticos de los estudiantes del Máster, y principalmente en lo que respecta a las dos subdimensiones sobre «metodología». Los futuros profesores, siguiendo un planteamiento políticamente correcto –también detectado en otros trabajos sobre el Máster (Pontes et al., 2016) y el Grado de Maestro en Educación Primaria (Hamed et al., 2016)– defienden ya desde el inicio la participación necesaria del alumnado en su propio aprendizaje (trabajo en grupo a partir de proyectos, revisión de la metodología del profesor si es menester...), pero a su vez sostienen un modelo de enseñanza centrado en el profesor, que dirija el trabajo escolar con pautas y materiales cerrados. Mención aparte merece la categoría de Contenidos en la cual al inicio los estudiantes niegan la distinción entre contenidos científicos y contenidos escolares, y defienden la necesaria proximidad entre ambos –un obstáculo de tipo epistemológico descrito por otros autores en relación a la formación inicial y permanente del profesorado (Porlán et al., 2011; Vázquez-Bernal et al., 2010)–. Sin embargo, es cierto que en el pretest los futuros profesores contemplan la necesidad de trabajar sobre las ideas previas de los alumnos, aunque no hay certeza de que su significado corresponda al de los formadores.

En relación con la Evaluación y la Percepción del rendimiento escolar –aspectos descritos como “complejos”, donde cuesta mantener un modelo didáctico puro (Fuentes et al., 2009; García-Carmona, 2013; López-Lozano & Solís, 2016)–, en el pretest los futuros profesores manifiestan indecisión respecto a algunas cuestiones: la necesidad de recurrir a exámenes, la posibilidad de hacer un seguimiento frecuente e individual del alumnado, la disponibilidad de recursos docentes para hacer rendir a estudiantes diversos o la influencia de los factores alumno/profesor en el rendimiento del alumnado. Por último, la actitud de los estudiantes hacia su formación como profesionales resulta satisfactoria ya desde el comienzo de las asignaturas.

A partir de este pensamiento inicial del futuro profesorado, al término de la propuesta se detectan diferencias estadísticamente significativas (Z de Wilcoxon) en 19 de los ítems del cuestionario y en las seis subdimensiones globales, que expresan un acercamiento al modelo constructivista. Con ello, la incoherencia en los modelos didácticos antes mencionada, sobre todo para la relación entre el Desarrollo de la enseñanza y la consiguiente

Participación del alumnado, parece disminuir en buena medida. Si se exceptúa la categoría sobre los Contenidos, las creencias de los estudiantes y aquellas correspondientes a un modelo didáctico constructivista se aproximan notablemente.

A continuación, para poder justificar los aspectos en los que el programa ha sido más eficaz, se utilizan las siguientes herramientas de análisis:

- a) La prueba de los rangos con signo de Wilcoxon (Z) y los tamaños del efecto (r) aplicados a las *dimensiones globales* del cuestionario; y
- b) Representaciones gráficas que integran los resultados del pretest y el postest en los distintos *ítems* (Martínez-Chico, 2013; Vázquez & Manassero, 2013), y un análisis estadístico para aquellas proposiciones que destacan por su evolución en el transcurso de la propuesta, o por la permanencia al final de creencias de tipo tradicional.

En primer lugar, en relación con los tamaños del efecto y las evoluciones significativas en las creencias, cabe señalar que el Artículo 5 de la tesis (inédito) contiene una amplia revisión del comportamiento en los ítems individuales. Por ello, se juzga conveniente comenzar por el análisis de las seis dimensiones del cuestionario de forma *global*. En concreto, la Tabla 7.1 refleja estas categorías ordenadas según los valores de r para el tamaño del efecto (Field, 2009; Pallant, 2010b).²⁷

Dimensiones para las creencias	Tamaño del efecto (r)		Wilcoxon (Z) #
Metodología: Desarrollo de la enseñanza	0.58	Grande	-5.937***
Evaluación	0.43	Mediano	-4.358***
Metodología: Participación y adaptación al alumno	0.39	Mediano	-3.986***
Contenidos	0.37	Mediano	-3.791***
Percepción de la formación del profesor	0.36	Mediano	-3.709***
Percepción del rendimiento escolar	0.25	Pequeño	-2.530*

Cambios pre-post estadísticamente significativos: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Tabla 7.1. Tamaños del efecto y valores del estadístico de Wilcoxon a partir de la valoración global de cada dimensión

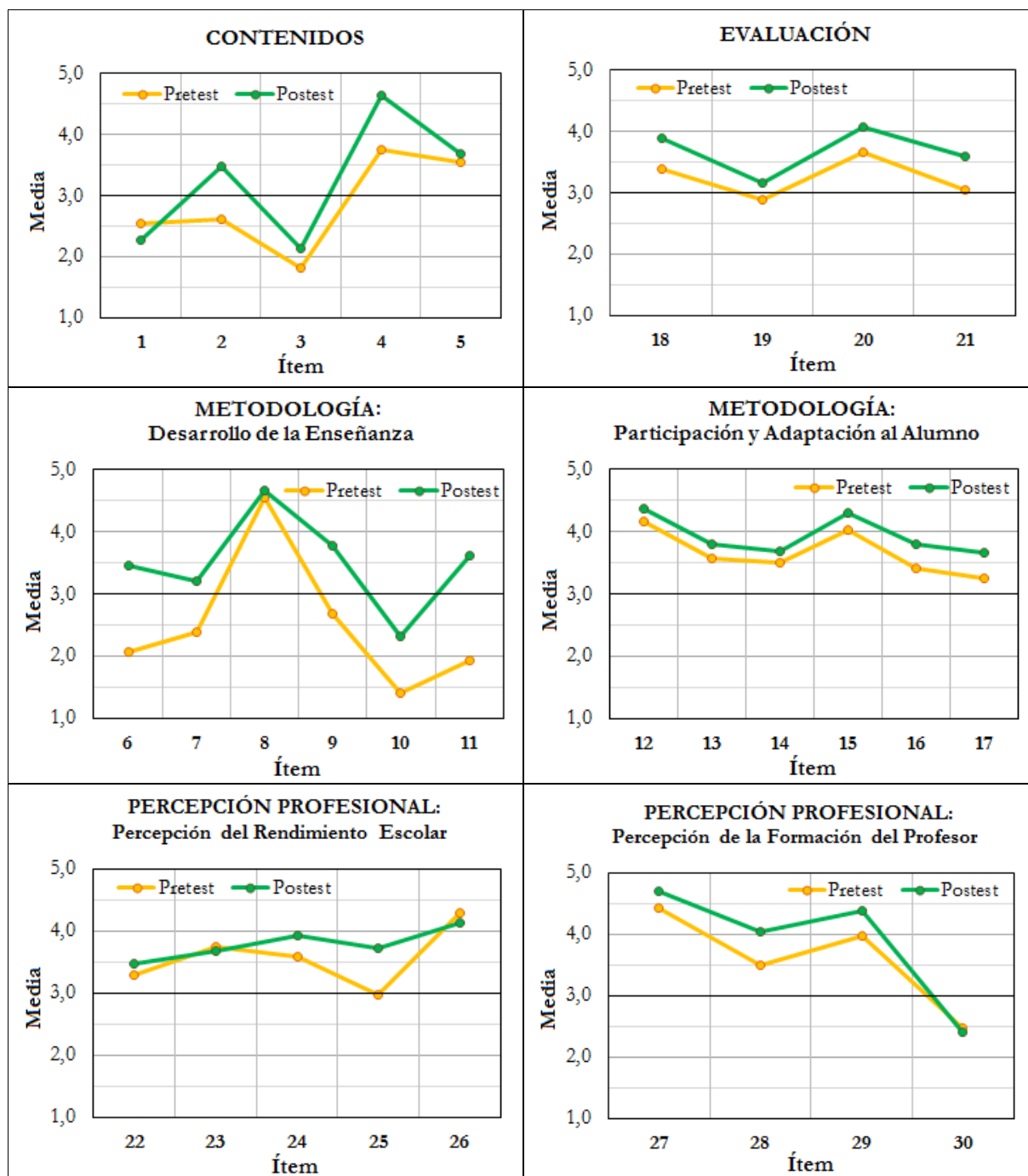
La Tabla 7.1 da cuenta de un resultado de gran relevancia: la significatividad del cambio en las creencias, hacia visiones de tipo constructivista, en las 6 dimensiones que han sido objeto de estudio. Este hecho supone el respaldo a la propuesta formativa como catalizadora de una evolución –al menos a nivel declarativo– en las creencias profesionales de los futuros profesores, cambio que, por supuesto, deberá ser fortalecido por medio de un trabajo adecuado en el Practicum (Fazio, Melville & Bartley, 2010; Mellado, 1998; Windschitl, 2003). Además, el análisis de la tabla sugiere otros aspectos de interés:

²⁷ La definición de este indicador no paramétrico del tamaño del efecto se recoge en el capítulo 3 y en el Artículo 5 de la tesis.

- El mayor impacto de la propuesta corresponde a las dimensiones sobre «metodología», donde se observa una crítica a aspectos inicialmente defendidos como la transmisión verbal de contenidos o la utilización de materiales (apuntes, guiones de laboratorio, etc.) muy dirigidos. Este resultado se justifica bien atendiendo no solo al tipo de actividades escolares presentadas (situaciones problemáticas abiertas, modelización, laboratorios virtuales, problemáticas CTSA...) sino al planteamiento investigativo global de las asignaturas, representado en la Figura 7.1 –principio de isomorfismo–. Además, el hecho de haber relacionado el cambio en las creencias sobre la metodología docente con las características específicas de la intervención educativa –problemas profesionales, actividades de aula, temporalización, recursos, etc. (Martínez-Aznar et al., 2017)– supone cubrir una demanda de la comunidad dedicada a la investigación en didáctica de las ciencias (Martínez-Chico et al., 2014; Pilitsis & Duncan, 2012). El programa para las asignaturas de didácticas específicas del Máster parece cumplir unas características adecuadas para favorecer una transición en el pensamiento docente, desde la asunción de metodologías transmisivas (centradas en la enseñanza) hacia la defensa de actividades de corte constructivista –centradas en el aprendizaje y recomendadas para aumentar la motivación del alumnado (Rocard et al., 2007)–. En este sentido, los resultados obtenidos resultan más satisfactorios que los del estudio de Solís et al. (2013) con una muestra global de 8 universidades.
- La *percepción profesional* –tanto para la «formación del profesor» como sobre el «rendimiento escolar»– conforma la dimensión con un menor tamaño del efecto (Tabla 7.1), quizás debido a su tratamiento más indirecto en el programa formativo (Martínez-Aznar et al., 2017). Sin embargo, conviene destacar la significatividad de los cambios en estas categorías, en el sentido de reforzar la percepción de influencia del docente –y de su formación– en los logros de los estudiantes. Al final de las asignaturas los participantes asumen que un profesor de ciencias puede recurrir a una variedad de recursos para promover el rendimiento escolar, que las metodologías de enseñanza-aprendizaje son un elemento clave y que, en relación con todo ello, la formación científica previa resulta insuficiente –en estas proposiciones se detecta una evolución estadísticamente significativa (ver Artículo 5)–. Estos resultados animan a trabajar de forma más exhaustiva el aspecto de la motivación hacia la docencia en distintos momentos del proceso formativo (García-Carmona, 2013; Pontes & Poyato, 2016).

A continuación, para pormenorizar el estudio sobre los *ítems individuales* del cuestionario (Anexo 1), se muestran representaciones gráficas que contienen los resultados del pretest y el posttest en las distintas proposiciones. En este punto, cabe recordar la dicotomía con la que se han formulado los ítems: siguiendo los criterios del artículo de la tesis, los valores numéricos 1-2 se asignan a los acuerdos con creencias vinculadas al modelo didáctico tradicional (o desacuerdos con las correspondientes al modelo constructivista), y los valores 4-5 se consideran al defenderse proposiciones vinculadas al constructivismo (o discrepar sobre las asignadas al modelo tradicional). Por razones de sim-

plicidad, la Figura 7.3 considera las puntuaciones medias en los distintos ítems, siguiendo los criterios ya descritos. Estas gráficas se organizan según las seis dimensiones del cuestionario.



* Por medio de una reconversión de la escala, 1 = modelo tradicional, 5 = modelo constructivista

Figura 7.3. Puntuaciones medias* en los distintos ítems de las seis dimensiones del cuestionario

La figura muestra la evolución hacia posiciones constructivistas en las seis dimensiones del cuestionario y en la mayor parte de las proposiciones. Se observan excepciones, retrocesos no significativos hacia una posición tradicional, en los ítems 1 (identificación del conocimiento científico como «pensamiento verdadero»), 23 (achacar el rendimiento a

la procedencia socioeconómica), 26 (rebajar la importancia relativa de las actitudes docentes respecto al conocimiento científico/didáctico) y 30 (necesidad de ser graduado en física o química para enseñar estas materias) –ver Artículo 5–.

Asimismo, las gráficas de la Figura 7.3 representan la magnitud del cambio en las creencias,²⁸ que resulta ser mayor en las siguientes dimensiones:

- *Desarrollo de la enseñanza.* Aquí se parte de una situación donde 5 de las 6 cuestiones se sitúan en el rango vinculado al modelo tradicional, pero finalmente se alcanza una visión muy diferente, con cinco ítems que presentan valoraciones más próximas al constructivismo didáctico. Así, parece superarse en buena medida la incoherencia inicial entre el deseo sobre la participación del alumnado y la defensa de estrategias centradas en el profesor (las dos dimensiones sobre Metodología). En esta línea, en la formación inicial de maestros, autores como Hamed et al. (2016) han obtenido resultados similares en relación a las creencias sobre la metodología de enseñanza, al implementar una propuesta investigativa sobre problemas profesionales (Mellado, 2003; Porlán et al., 2010).
- *Evaluación.* En este caso, se observan transiciones hacia una tendencia constructivista en los cuatro ítems de la categoría. Estos resultados sugieren un refuerzo de la visión formativa de la evaluación, como proceso de ayuda al alumnado que contemple indicadores diversos a analizar periódicamente (ver Artículo 5). Sin embargo, el cambio menor (no significativo) se produce en el ítem 19 sobre la necesidad de recurrir a los exámenes, lo que apunta a un *obstáculo* profesional en relación a un instrumento hegemónico de la tradición escolar (Sanmartí, 2003; Vázquez-Bernal, Mellado, Jiménez-Pérez & Martos, 2013). Este hecho anima a que, en futuras ediciones del Máster, se explore de forma más amplia una dimensión “compleja” que puede englobar rasgos múltiples, a veces contradictorios –evaluación como corrección, proceso objetivo y discriminatorio, instrumento de mejora, mecanismo de autorregulación de los aprendizajes, etc. (Fuentes et al., 2009; Furtak, 2012; López-Lozano & Solís, 2016)–.

Por otra parte, la Figura 7.3 sugiere una característica de gran relevancia: el carácter gradual y evolutivo de los cambios en las creencias de los futuros profesores (Toulmin, 1977), en el sentido de estar fuertemente ligados a sus «niveles» de partida y de la coexistencia de ideas vinculadas a modelos didácticos diferentes (Mellado, 2003; Porlán et al., 2011; Tal et al., 2001). Si se observan las gráficas, con la excepción de la correspondiente a la «percepción del rendimiento escolar», se comprueba cómo la valoración relativa de los ítems en cada caso se mantiene prácticamente inalterada, aunque sí se producen transiciones globales hacia una visión más acorde al constructivismo. Estos resultados refuerzan la oposición de distintos autores (*p.ej.*, Mellado, 2003; Porlán et al., 2010; Valcárcel & Sánchez-Blanco, 2000) a los modelos de formación del profesorado como «cambio conceptual por sustitución», por considerarlos un tanto idealistas teniendo en cuenta la dificultad para provocar cambios “radicales” en las concepciones docentes

²⁸ Los resultados de la Figura 7.3 (a partir de las medias) no son directamente comparables a los tamaños del efecto dados por r (indicador no paramétrico).

(Hashweh, 2003; Hewson, 1992; Posner et al., 1982). Así, los datos obtenidos parecen reflejar que el desarrollo profesional de los docentes, en este caso en su etapa inicial, responde más a un modelo de «cambio gradual por desarrollo interno» –comparado por Mellado (2003) con las *tradiciones de investigación* de Laudan y el *evolucionismo* de Toulmin–, en cuyo crecimiento la investigación y la reflexión juegan un papel fundamental (Ash & Levitt, 2003; Couso & Pintó, 2009; Porlán & Rivero, 1998).

Además, la información de la Figura 7.3 supone un estímulo a la realización de investigaciones sobre la progresión, en términos de estadios de pensamiento/acción y obstáculos profesionales, en la formación inicial del profesorado de Secundaria y en su periodo de inducción a la docencia, un aspecto algo más explorado en relación con su formación permanente (Furió & Carnicer, 2002; Vázquez-Bernal et al., 2010, 2012) o para la formación inicial de maestros de primaria (Martín del Pozo & De-Juanas, 2013; Porlán et al., 2011; Rivero, Azcárate, Porlán, Martín del Pozo & Harres, 2011).

En línea con lo anterior, a continuación se incide en el análisis de los aspectos particulares donde la propuesta mostrada en Martínez-Aznar et al. (2017) –primer artículo del compendio– ha sido más y menos efectiva. Para ello, se selecciona un conjunto de ítems siguiéndose los siguientes criterios: *i)* las 4 proposiciones con mayores tamaños del efecto; y *ii)* las 4 proposiciones donde se mantiene una tendencia mayoritaria de tipo tradicional al término de la propuesta (ver Artículo 5 y Figura 7.3).

En relación con las cuatro creencias que más han evolucionado, la Tabla 7.2 recoge los porcentajes de estudiantes que se adhieren a los dos modelos didácticos, los estadísticos Z (Wilcoxon) y r (tamaño del efecto), las medias (1 = tradicional, 5 = constructivista) y las desviaciones típicas de estos ítems para el pretest y el postest.

La tabla muestra que tres de estas proposiciones (6, 9 y 11) corresponden a la dimensión de «Desarrollo de la enseñanza», lo que sugiere la validez del programa como catalizador de un cambio metodológico hacia propuestas más activas –no tan dirigidas en cuanto a explicaciones, apuntes cerrados o procedimientos a seguir en el laboratorio–. Para estos ítems, los porcentajes finales de aceptación de la posición constructivista son próximos al 70%, lo que supone la inversión de la situación de partida. En este sentido, los resultados son coherentes con los obtenidos a partir de entrevistas en Rodríguez-Arteche y Martínez-Aznar (2016c) –Artículo 6 de la tesis– donde los futuros profesores, independientemente del modelo didáctico al que son asignados, reconocen la capacidad motivadora de las metodologías trabajadas en las asignaturas de didáctica y su contribución al desarrollo de competencias.²⁹ Igualmente, estos datos serían acordes con los obtenidos para la percepción profesional a través del cuestionario, en concreto sobre la relevancia de las metodologías y la disponibilidad de recursos por parte de los docentes (ítems 24 y 25, que conllevan tamaños del efecto considerables).

²⁹ Otro aspecto sería el de la “frecuencia de uso” de las actividades de corte constructivista, que será explorado en relación con los Objetivos 3 y 5.

DIMENSIÓN	PROPOSICIÓN # (<i>modelo didáctico asociado</i>)		PRETEST		POSTEST	
			%	\bar{x} (σ)	%	\bar{x} (σ)
Contenidos	4. Las ideas de los alumnos sobre los conceptos de ciencias son un conocimiento alternativo con el que hay que trabajar en clase. (<i>modelo constructivista</i>)	MT	3.8	3.75	0.0	4.63
		MC	69.2	(0.68)	100.0	(0.49)
		Z		-5.849*** ($p<0.001$)		
		r		+0.57 (grande)		
Metodología: Desarrollo de la enseñanza	11. El trabajo de laboratorio debe ser dirigido mediante guiones o procedimientos de resolución. (<i>modelo tradicional</i>)	MT	82.7	1.92	17.3	3.62
		MC	5.8	(0.81)	69.2	(0.95)
		Z		-5.571*** ($p<0.001$)		
		r		+0.55 (grande)		
	6. El profesor tiene que explicar los conceptos, leyes, hechos, etc., para que los estudiantes los aprendan. (<i>modelo tradicional</i>)	MT	84.6	2.08	23.1	3.46
		MC	3.8	(0.71)	61.5	(1.06)
		Z		-5.373*** ($p<0.001$)		
		r		+0.53 (grande)		
	9. Cada tema debería explicarse siguiendo un libro de texto o apuntes claros. (<i>modelo tradicional</i>)	MT	59.6	2.67	15.4	3.77
		MC	25.0	(0.96)	75.0	(0.98)
		Z		-4.572*** ($p<0.001$)		
		r		+0.45 (mediano)		

Los estudiantes se adscriben al Modelo Tradicional (MT) o al Modelo Constructivista (MC). Los items se ordenan según los valores de r –tamaño del efecto–

Tabla 7.2. Estadísticos para las creencias donde la propuesta tiene un mayor impacto

Por otra parte, el ítem 4 de la Tabla 7.2 sobre la utilización en el aula de las ideas de los alumnos es el de mayor tamaño del efecto de todo el cuestionario ($r=+0.57$), siendo la única proposición que conlleva unanimidad al término de las asignaturas. Como se ha comentado en el Artículo 5, es cierto que en el posttest las creencias sobre el uso didáctico de las ideas previas no siempre son de tipo constructivista (casi un cuarto de los participantes propone que «el profesor debe eliminarlas»), pero en todo caso, la percepción general sobre la necesidad de explicitar estas concepciones se considera muy relevante. Por ello, este resultado respalda la forma de trabajar en las asignaturas, donde a partir de la sesión 5 (Martínez-Aznar et al., 2017) los futuros profesores deben resolver y analizar la intencionalidad de un conjunto de actividades destinadas la detección de «concepciones alternativas» (Driver, 1988; Gil-Pérez & Carrascosa, 1990; Nurrenbern & Pickering, 1987; Raviolo & Martínez-Aznar, 2003, 2005; Viennot, 1979).

De forma similar, la Tabla 7.3 recoge las proposiciones donde a pesar de la intervención, al final de las asignaturas perdura una tendencia mayoritaria de tipo *tradicional*. En estos casos, más del 60% de los futuros profesores sigue mostrando posiciones tradicionales en el posttest.

Puede comprobarse que al margen de las dimensiones concretas a las que pertenecen las creencias de la tabla, existe una cierta similitud entre sus características. Estas proposiciones reflejan la asunción de un único conocimiento verdadero –el conocimiento científico o «experto»– al que deben tender las ideas de los alumnos (Crippen &

Archambault, 2012; Porlán et al., 1998; Sandoval, 2005), para lo cual las actividades experimentales como «aplicación» pueden resultar provechosas (Pro, 2011; Rivarosa & Astudillo, 2013). Además, los resultados para el ítem 30 sugieren la idea de un conocimiento científico dominante sobre otros saberes, un aspecto de amplia discusión en la propia comunidad dedicada a la formación de profesores (García-Barros, 2016).

DIMENSIÓN	PROPOSICIÓN # (modelo didáctico asociado)		PRETEST		POSTEST	
			%	\bar{x} (σ)	%	\bar{x} (σ)
Contenidos	1. El conocimiento científico es la forma de pensamiento objetiva y correcta. (modelo tradicional)	MT	59.6	2.54	75.0	2.27
		MC	25.0	(1.06)	19.2	(1.03)
		Z		-1.489		
		r		-0.15 (pequeño)		
	3. Los contenidos escolares deben ser próximos al conocimiento científico. (modelo tradicional)	MT	90.4	1.83	80.8	2.13
		MC	1.9	(0.65)	13.5	(1.01)
		Z		-2.011* ($p < 0.05$)		
		r		+0.20 (pequeño)		
Formación del profesor	30. Para ser profesor de física y química habría que ser graduado/licenciado en estas materias. (modelo tradicional)	MT	61.5	2.46	61.5	2.40
		MC	26.9	(1.20)	26.9	(1.24)
		Z		-0.498		
		r		-0.05 (despreciable)		
Desarrollo de la enseñanza	10. Las actividades experimentales en física y química deben utilizarse como aplicación de los conocimientos explicados. (modelo tradicional)	MT	96.2	1.40	61.5	2.33
		MC	1.9	(0.63)	30.8	(1.35)
		Z		-3.997*** ($p < 0.001$)		
		r		+0.39 (mediano)		

Los estudiantes se adscriben al Modelo Tradicional (MT) o al Modelo Constructivista (MC). Se recuerda que en las medias: 1 = modelo tradicional, 5 = modelo constructivista

Tabla 7.3. Estadísticos para las creencias donde perdura una posición mayoritaria tradicional

La revisión de la Tabla 7.3 indica que en el caso de la proposición 10 (creencia sobre el trabajo experimental como «aplicación»), se produce una evolución significativa hacia un mayor desacuerdo ($r = +0.39$), pero resulta insuficiente para asumir una posición mayoritaria de tipo constructivista. Como también se explora en Rodríguez-Arteche y Martínez-Aznar (2016c) –Artículo 6 de la tesis–, al terminar las asignaturas los futuros profesores ponen en valor la contribución de las secuencias de Problem-Based Learning³⁰ (PBL) en el desarrollo de procedimientos científicos, habilidades de aprendizaje cooperativo y una visión sobre la propia naturaleza de la ciencia; sin embargo, cuestionan el uso de estas actividades con un fin diferente al de “síntesis” de las Unidades, debido al tiempo que consumirían, las dificultades que acarrearían para el alumnado y su posible resistencia al trabajo. Este tipo de «obstáculos» para apropiarse plenamente de una metodología constructivista aparecen recogidos en la literatura (Vázquez-Bernal et al., 2010;

³⁰ Los artículos 2 y 3 del compendio (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016a, 2016b) describen la resolución de los problemas abiertos sobre los cambios físicos y químicos.

Wheeler et al., 2015), y sobre todo para el PBL, considerado como uno de los métodos que más oposición puede encontrar en el profesorado novel (Prince & Felder, 2007). Por ello, conviene demandar más oportunidades para trabajar en esta línea en otras asignaturas del módulo específico del Máster y durante el Practicum, para poder reforzar este tipo de estrategias metodológicas y vencer algunas de las resistencias descritas.

En relación con las cuestiones 1, 3 y 30, como ya se ha comentado en el Artículo 5, sus resultados parecen guardar una relación estrecha, como si se tratara de una «amalgama» de creencias que asumen la existencia de un único conocimiento verdadero al que deben tender las ideas de los escolares (Porlán et al., 2011). Ello supone proponer como *mejora* para las asignaturas un trabajo más específico sobre la «naturaleza de la ciencia» (Wahbeh & Abd-El-Khalick, 2014), en la línea de incorporar actividades relacionadas con la historia de la ciencia y potenciar la metarreflexión y argumentación durante el trabajo de indagación escolar (McDonald, 2010; Acevedo & García-Carmona, 2016). No obstante, el cambio en las concepciones sobre la naturaleza de la ciencia ha demostrado ser costoso –al menos en mayor medida que otras dimensiones como la metodología docente–, tanto en nuestro contexto (Benarroch, Cepero & Perales, 2013; Solís et al., 2013) como en uno más internacional (Akerson, Morrison & McDuffie, 2006; Morrison, Raab & Ingram, 2009).

En todo caso, en el artículo inédito de la tesis quedó pendiente de explorar la cuestión sobre la probable relación entre estas y otras creencias, y su posible agrupación en clusters. Por ello, estos aspectos se abordan en el siguiente apartado.

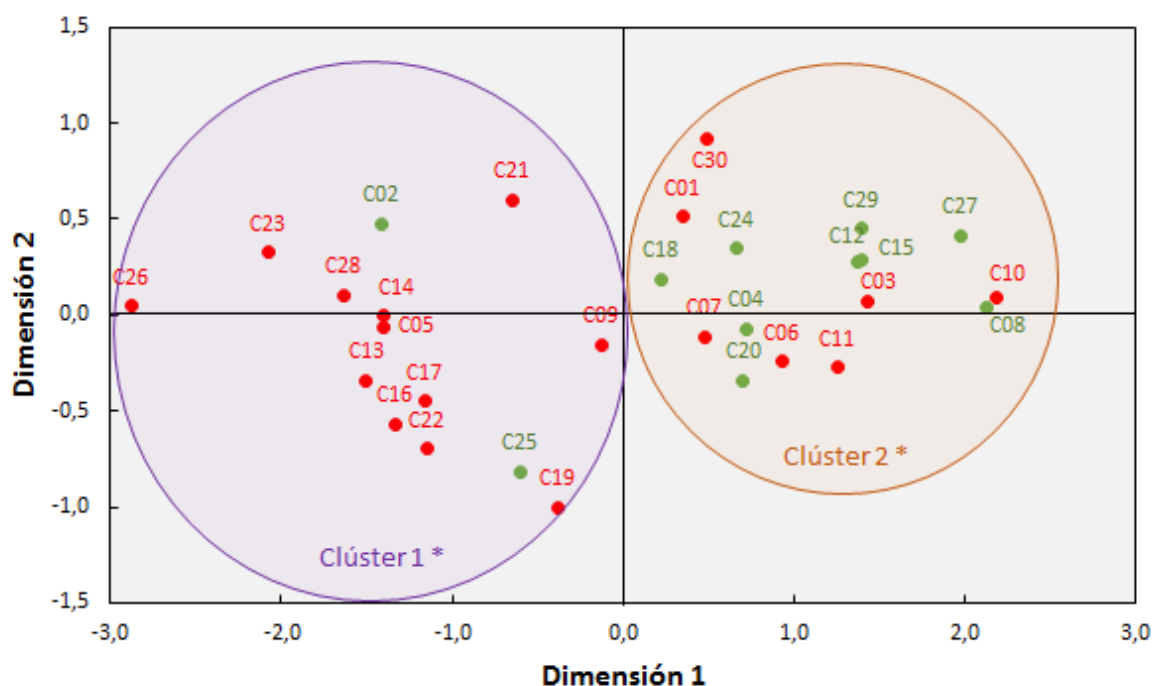
B) Relación entre las creencias: escalamiento multidimensional y análisis de clúster

Para determinar las similitudes y diferencias percibidas por los estudiantes en las proposiciones del cuestionario «Pensamiento Curricular y Profesional» (Anexo 1), es decir, la modelización contemplada de las creencias, se recurre a varias técnicas: escalamiento multidimensional –MultiDimensional Scaling, MDS– de tipo indirecto o derivado y análisis de clúster a través del método de Ward.³¹ El uso de los dos métodos pretende facilitar la interpretación de los resultados y comprobar la coherencia entre ambas técnicas de análisis de conglomerados. Estos métodos han sido utilizados en varios estudios recientes sobre el pensamiento del futuro profesorado de ciencias (Álvarez et al., 2013; Cortés et al., 2016; Poyato, 2016).

Para representar directamente los ítems a través de las técnicas estadísticas y evitar la mediación del investigador, aquí no se reconvierte la escala ordinal en función de los modelos didácticos. Simplemente, los valores 4 y 5 reflejan posiciones de acuerdo, mientras que 1 y 2 indican desacuerdo.

³¹ La descripción completa del procedimiento de análisis se puede consultar en el capítulo 3.

De la aplicación del método de Ward, se obtiene un número de *dos clusters* para aglutinar los resultados en ambos momentos del proceso formativo –pretest y posttest–. En relación con el escalamiento multidimensional, la Figura 7.4 muestra la visión de los participantes (pretest) sobre los ítems del cuestionario, en un mapa perceptual que también recoge los clusters en que se distribuyen las creencias y los modelos didácticos que sirven de base para formular las proposiciones. Este diagrama MDS para el pretest obtiene $\text{Stress} = .12782$ y una correlación $\text{RSQ} = .93761$, que muestran un grado razonable de ajuste (Vila, 1999). Además, el gráfico concuerda con el proceso independiente de análisis de clúster: la asignación de las creencias a los dos conglomerados es coherente con la ubicación de los ítems en el diagrama MDS.



* Se indican los clusters en que se agrupan las creencias (se obtienen de forma independiente al MDS). En *rojo*: ítems asociados a un modelo tradicional; en *verde*: ítems vinculados a un modelo constructivista

Figura 7.4. Diagrama de escalamiento de los ítems en el pretest

La *dimensión 1* (horizontal) de la figura parece mostrar una cierta correspondencia con los modelos didácticos a los que se vinculan las proposiciones. Aunque hay excepciones, a la derecha se sitúa la mayor parte de las creencias vinculadas a un modelo constructivista, como un papel docente de guía en el proceso de construcción del conocimiento (ít. 8), la participación del alumnado en la enseñanza (ít. 12) o la modificación de la metodología didáctica si es cuestionada por los estudiantes (ít. 15). Por el contrario, a la izquierda se encuentran cuestiones asociadas a un modelo tradicional, como la mayor importancia del conocimiento científico y didáctico frente a la actitud del profesor (ít. 26), la suficiencia de la formación universitaria previa para desempeñar la docencia (ít. 28), el trabajo individual como el más productivo (ít. 13) o la asociación de las ideas previas del alumnado con «errores a eliminar por el profesor» (ít. 5).

La *dimensión 2* (vertical) de la Figura 7.4 es más compleja de interpretar, pero puede guardar relación con un foco en el conocimiento del contenido –en la parte superior– y otro en el aprendizaje de estrategias didácticas –región inferior–. Arriba, se sitúan proposiciones como el requisito de ser graduado en física o química para enseñar estas materias (ít. 30), el conocimiento científico como forma de pensamiento verdadera (ít. 1) o la necesidad de poseer una cultura general amplia para desempeñar la docencia (ít. 29). Abajo, se encuentran cuestiones como la disponibilidad de recursos por parte del profesor para promover el rendimiento escolar (ít. 25), los exámenes como elemento para motivar el estudio (ít. 19), la adaptación a la diversidad como elemento perjudicial para los más capacitados (ít. 16) o la conveniencia de proporcionar guiones detallados de laboratorio (ít. 11).

Resulta interesante comprobar que al inicio de las asignaturas de didáctica, a pesar de la organización general de la «dimensión 1», la distribución de los clusters no responde “exactamente” a los modelos didácticos tomados como referentes en el cuestionario. Como también sucede en el estudio de Poyato (2016), en ocasiones los criterios de los estudiantes del Máster son diferentes a los de los expertos: algunas ideas que la comunidad investigadora asocia a un modelo didáctico tradicional pueden resultar “innovadoras” para los futuros profesores; del mismo modo, otras ideas asignadas al modelo constructivista pueden resultar “desconocidas”.

Con el fin de explorar el aspecto anterior, la Tabla 7.4 recoge las proposiciones del cuestionario vinculadas a cada uno de los clusters. Se observa que el clúster izquierdo está formado por 12 ítems (86%) asociados al modelo tradicional y 2 (14%) vinculados al modelo constructivista. En cambio, el clúster derecho lo forman 9 ítems (56%) correspondientes al modelo constructivista y 7 (44%) asociados al modelo tradicional. Los datos mostrados en el Artículo 5 de la tesis sobre el respaldo de las distintas creencias, sugieren que los aspectos situados en la *derecha* conforman el “modelo defendido” por los futuros profesores, en relación con los procesos de enseñanza-aprendizaje y la percepción profesional.

La Tabla 7.4 revela que 9 de las 11 proposiciones de tipo constructivista se engloban en el “modelo defendido”, asignado a las ideas o características *deseables*. Con ello, se detecta que al inicio los estudiantes del Máster parecen asumir buena parte de las creencias vinculadas a un modelo didáctico constructivista –en semejanza con otros estudios (Hamed et al., 2016; Pontes et al., 2016)–. Sin embargo, en este clúster derecho del pretest también se sitúan 7 proposiciones vinculadas a un modelo didáctico tradicional.

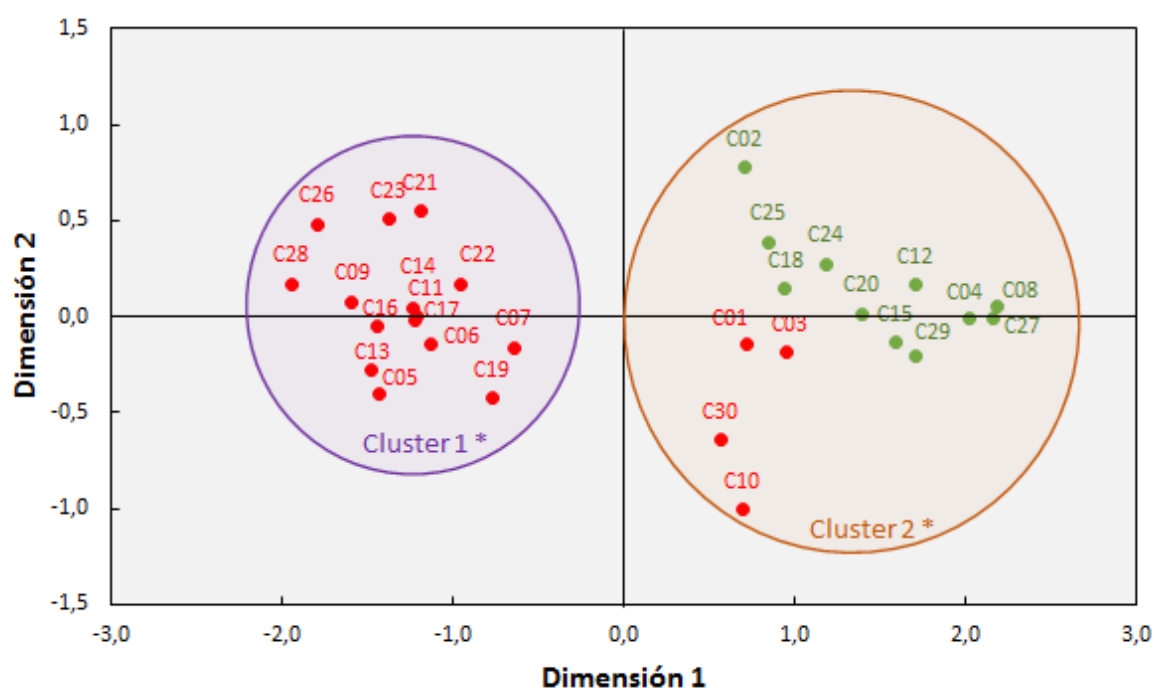
Clúster 1 (izquierda)	Clúster 2 (derecha). “Modelo Defendido”
<p>5. Las ideas de los alumnos sobre los conceptos de ciencias son errores que el profesor debe eliminar (MT)</p> <p>9. Cada tema debería explicarse siguiendo un libro de texto o apuntes claros (MT)</p> <p>13. El trabajo más productivo para los alumnos es el individual (MT)</p> <p>14. Trabajar en clase por proyectos o pequeñas investigaciones requiere mucho tiempo para el rendimiento que obtienen los escolares (MT)</p> <p>16. Tener en cuenta la diversidad de los alumnos a la hora de impartir las materias de ciencias perjudica a los alumnos más capacitados (MT)</p> <p>17. La adaptación de la enseñanza a la diversidad del aula reduce el nivel de los conocimientos en las materias de ciencias (MT)</p> <p>19. Si no hubiera exámenes los alumnos no estudiarían (MT)</p> <p>21. En nuestras aulas no es posible hacer un seguimiento diario e individual de cada alumno (MT)</p> <p>22. El éxito o fracaso de los alumnos depende básicamente de sus características personales (motivación, inteligencia...) (MT)</p> <p>23. La procedencia socioeconómica de los alumnos es la principal razón de su rendimiento escolar (MT)</p> <p>26. La personalidad y las actitudes del profesor de ciencias tienen menor incidencia en el rendimiento de los alumnos que sus conocimientos científicos y didácticos (MT)</p> <p>28. La formación científica recibida en la Universidad (Grado/Licenciatura/Ingeniería) es suficiente para desempeñar la labor docente en la enseñanza secundaria (MT)</p> <p>2. Los contenidos escolares son una forma peculiar de conocimiento, distinta al conocimiento científico y al conocimiento ordinario (MC)</p> <p>25. Un profesor de ciencias dispone de recursos suficientes para hacer rendir adecuadamente a los alumnos, con independencia de la extracción social o características personales de éstos (MC)</p>	<p>4. Las ideas de los alumnos sobre los conceptos de ciencias son un conocimiento alternativo con el que hay que trabajar en clase (MC)</p> <p>8. El profesor debe ayudar a los escolares en la construcción de sus propios conocimientos (MC)</p> <p>12. Los alumnos deberían participar en el desarrollo de la enseñanza en el aula (MC)</p> <p>15. El profesor debería revisar su método de enseñanza si éste fuera cuestionado por el alumnado (MC)</p> <p>18. Uno de los objetivos más importantes de la evaluación es que cada alumno sea consciente de sus dificultades (MC)</p> <p>20. Es imprescindible resaltar la evaluación de las actitudes en la nota final de las asignaturas de física y química (MC)</p> <p>24. El mayor fracaso de los alumnos en las asignaturas de ciencias se debe sobre todo a que en su enseñanza se utilizan métodos inadecuados (MC)</p> <p>27. El profesorado de enseñanza secundaria necesita una formación psicopedagógica suplementaria a su formación científica para desempeñar su función (MC)</p> <p>29. Un profesor de física y química debe tener una cultura general amplia (filosofía, historia, literatura, música, etc.) (MC)</p> <p>1. El conocimiento científico es la forma de pensamiento objetiva y correcta (MT)</p> <p>3. Los contenidos escolares de física y química deben ser próximos al conocimiento científico (MT)</p> <p>6. El profesor tiene que explicar los conceptos, leyes, hechos, etc., para que los estudiantes los aprendan (MT)</p> <p>7. El profesor tiene la función de transmitir el conocimiento científico elaborado a lo largo de los siglos (MT)</p> <p>10. Las actividades experimentales en física y química deben utilizarse como aplicación de los conocimientos explicados (MT)</p> <p>11. El trabajo de laboratorio debe ser dirigido mediante guiones o procedimientos de resolución (MT)</p> <p>30. Para ser profesor de física y química habría que ser graduado/licenciado en estas materias (MT)</p>

Tabla 7.4. Creencias pertenecientes a los dos clusters del pretest, según la Figura 7.4

Los 7 ítems vinculados al modelo tradicional y asumidos como *deseables* por los participantes al inicio del programa (Tabla 7.4) guardan relación con:

- *Contenidos*. Se considera el conocimiento científico como forma de pensamiento “correcta” a la que aproximar los contenidos escolares de física y química.
- *Desarrollo de la enseñanza*. El profesor, como transmisor de un conocimiento histórico, tendría que “explicar” conceptos, leyes y hechos, pudiendo recurrir a actividades experimentales –con guiones cerrados– a modo de “aplicación”.
- *Formación*. Un profesor de física y química debería ser graduado en alguna de estas dos materias.

A continuación, se presentan los resultados sobre el pensamiento docente al término de las asignaturas de Didáctica de la Química y de la Física. La Figura 7.5 recoge la representación MDS de los ítems para el *postest*. En este caso, se obtienen los siguientes parámetros de ajuste: Stress = .08511, correlación RSQ = .97490 –satisfactoria y superior a la del pretest (Vila, 1999)–. Además, se vuelve a comprobar la concordancia entre los dos procedimientos estadísticos: análisis de clúster y escalamiento multidimensional.



* Se indican los clusters en que se agrupan las creencias. En *rojo*: ítems asociados a un modelo tradicional; en *verde*: ítems vinculados a un modelo constructivista

Figura 7.5. Diagrama de escalamiento de los ítems en el postest

Si se compara este diagrama con el del pretest, se aprecia que la percepción de los estudiantes sobre las proposiciones de análisis se asemeja mucho más a la visión que subyace detrás de los dos modelos didácticos tomados como referentes (Fernández-

González et al., 2001; Porlán et al., 1998; Pozo et al., 2006). En este caso, las ideas englobadas en el “modelo defendido” por el futuro profesorado incluyen la totalidad de proposiciones constructivistas, pero igualmente, este clúster derecho incorpora 4 ideas vinculadas a un modelo didáctico tradicional. Estas ideas son: asumir el conocimiento científico como conocimiento verdadero (ít. 1), respaldar la proximidad entre los contenidos escolares y los científicos (ít. 3), entender las actividades experimentales como «aplicación» de las explicaciones (ít. 10) y defender la necesidad de ser graduado en física o química para enseñar estas materias (ít. 30). Justamente, estas proposiciones son las mismas que las mostradas antes en la Tabla 7.3 y, como se había planteado en el Artículo 5 de la tesis,³² parece que efectivamente guardan una relación entre sí ya que se encuentran agrupadas en una región común del diagrama MDS.

En todo caso, la comparación entre las Figuras 7.4 y 7.5 indica una evolución satisfactoria de los participantes, en términos de traslación de sus creencias hacia las que son propias de un modelo didáctico constructivista. De este modo, las creencias defendidas al inicio sobre la conveniencia de seguir una metodología transmisiva (“explicar” los conceptos, leyes y hechos, transmitir un conocimiento histórico, dar pautas cerradas en el laboratorio...) parecen superadas en el postest. Además, se comprueba que en este último gráfico las proposiciones se concentran en regiones específicas del diagrama MDS, en contraste con la mayor dispersión de la Figura 7.4.

En relación con las dimensiones utilizadas por los estudiantes para evaluar las creencias,³³ la situación parece cambiar ligeramente respecto al pretest. En la Figura 7.5 se observa que, nuevamente, la *dimensión 1* (horizontal) se asocia a los modelos didácticos vinculados a las proposiciones. A la derecha, se sitúan ideas de corte constructivista como el papel de guía del docente para promover la construcción de conocimiento escolar (ít. 8), la necesidad de trabajar con las ideas previas de los alumnos (ít. 4) o la importancia de evaluar las actitudes de los estudiantes (ít. 20). En contraposición a ello, a la izquierda se encuentran cuestiones relacionadas con el modelo didáctico tradicional, como la conveniencia de seguir un libro de texto o apuntes claros (ít. 9), la defensa del trabajo individual como el más productivo (ít. 13) o el cuestionamiento del trabajo por proyectos o pequeñas investigaciones (ít. 14).

La *dimensión 2* (vertical) es más difícil de interpretar pero podría estar relacionada con un foco –arriba– en las particularidades de la profesión docente (un conocimiento escolar diferenciado, contextos socioeconómicos variados, trabajar con recursos diversos, realizar un seguimiento del alumnado...), y otro –en la región inferior– en el papel del conocimiento científico en la función docente. En la región superior, se sitúan ideas como la peculiaridad de los contenidos escolares (ít. 2), la dificultad para realizar el seguimiento del alumnado (ít. 21), la procedencia socioeconómica como factor clave en el rendimiento (ít. 23), la relevancia del conocimiento, las actitudes y la personalidad del profesor (ít. 26)

³² En el Artículo 5 se menciona una «amalgama» de creencias que podrían evolucionar conjuntamente.

³³ En el pretest, la *dimensión 1* se vinculaba a los modelos didácticos, mientras que la *dimensión 2* sugería un foco en el conocimiento del contenido o en el aprendizaje de destrezas de enseñanza.

o la disponibilidad de recursos para hacer rendir a los estudiantes (ít. 25). Abajo, se encuentran cuestiones como la necesidad de ser graduado en física o química para ser profesor de estas materias (ít. 30), la labor docente de «eliminar» las ideas erróneas desde el punto de vista de la ciencia (ít. 5), recurrir al trabajo experimental a modo de ilustración de las explicaciones (ít. 10) o el uso de los exámenes como instrumento de evaluación (ít. 19).

Por ello, parece que esta segunda dimensión de pensamiento utilizada por los futuros profesores evoluciona desde una tensión en el pretest entre el conocimiento del contenido y el conocimiento pedagógico o didáctico –“*como futuros profesores, ¿qué necesitamos saber o aprender?*”– a otra (quizás más compleja) entre las visiones del profesor como transmisor fiel de conocimiento científico o como un profesional genuino, capaz de adaptar el conocimiento experto y promover el rendimiento del alumnado –“*¿cuál es la función de un profesor?*”–.

En definitiva, este apartado ha permitido explorar la “modelización” realizada por los estudiantes a partir de las proposiciones del cuestionario –según la cercanía percibida en estos ítems–. De este modo, se ha podido completar la visión descrita en los artículos de la tesis. Además, en general se comprueba una coherencia entre las características transmisivas o constructivistas con que fueron enunciados los ítems del cuestionario y la visión sobre ellos de los futuros profesores, sobre todo en el postest, como se muestra en la Figura 7.6. Ello respalda la *validez de criterio* del instrumento (Morales, Urosa & Blanco, 2003; Poyato, 2016), previamente sometido a juicio de expertos.

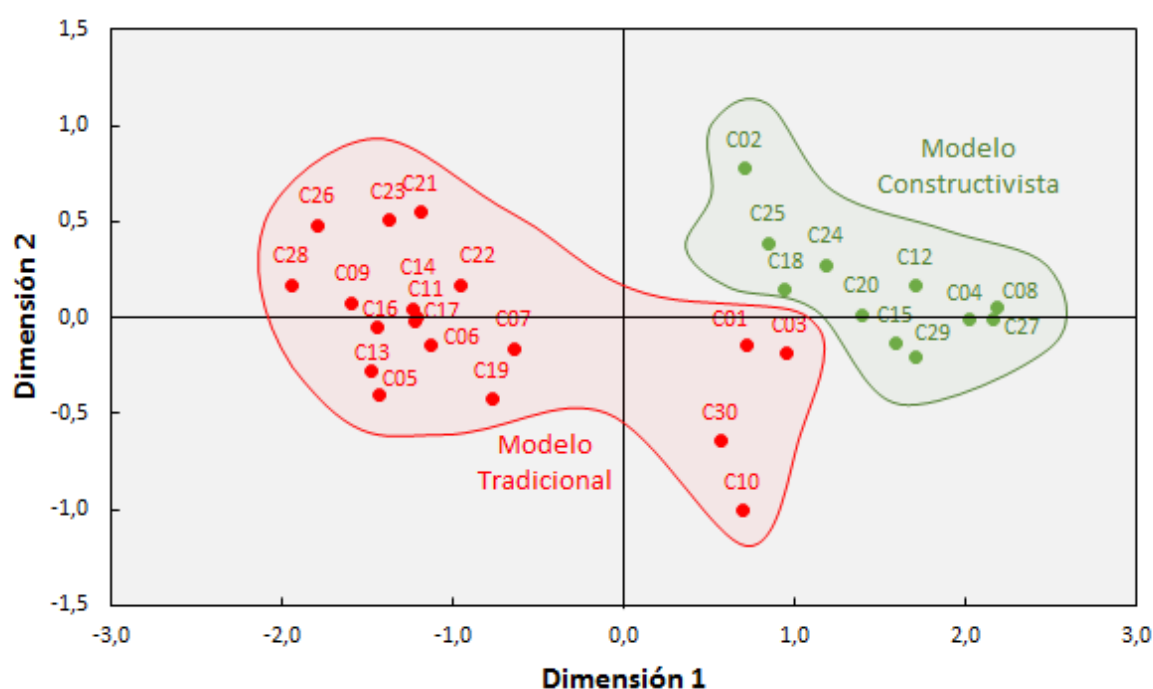


Figura 7.6. Validez de criterio del instrumento a partir del escalamiento multidimensional de los ítems en el postest

C) Creencias más dependientes de la promoción específica de estudiantes

El Artículo 5 de la tesis muestra un conjunto de creencias (9) donde, a pesar de mantenerse la secuencia de actividades y los formadores, se detecta una evolución notablemente distinta en las dos promociones analizadas –diferencia en tamaños del efecto (r) igual o superior a 0.25–. En la Tabla 7.5 se presenta el análisis estadístico para los 4 ítems donde esta diferencia es mayor.

PROPOSICIÓN # (<i>modelo didáctico asociado</i>)	Promoción		PRETEST		POSTEST		
			%	\bar{x} (σ)	%	\bar{x} (σ)	
–Dimensión de «contenidos»– 5. Las ideas de los alumnos sobre los conceptos de ciencias son errores que el profesor debe eliminar. (<i>modelo tradicional</i>)	2014/15	MT	7.4	3.78	3.7	4.30	
		MC	74.1	(0.75)	96.3	(0.67)	
		Z	-2.493* ($p<0.05$)				
		r	+0.34 (mediano)				
	2015/16	MT	24.0	3.28	40.0	3.04	
		MC	52.0	(0.84)	36.0	(1.14)	
		Z	-0.936				
		r	-0.13 (pequeño)				
	–Dimensión de «metodología: desarrollo de la enseñanza»– 10. Las actividades experimentales en física y química deben utilizarse como aplicación de los conocimientos explicados. (<i>modelo tradicional</i>)	2014/15	MT	96.3	1.41	40.7	2.89
			MC	3.7	(0.69)	44.4	(1.34)
Z			-3.624*** ($p<0.001$)				
r			+0.49 (mediano)				
2015/16		MT	96.0	1.40	84.0	1.72	
		MC	0.0	(0.58)	16.0	(1.10)	
		Z	-1.410				
		r	+0.20 (pequeño)				
–Dimensión de «metodología: participación y adaptación al alumno»– 14. Trabajar en clase por proyectos o pequeñas investigaciones requiere mucho tiempo para el rendimiento que obtienen los escolares. (<i>modelo tradicional</i>)		2014/15	MT	18.5	3.26	7.4	3.89
			MC	48.1	(0.98)	81.5	(0.75)
	Z		-2.496* ($p<0.05$)				
	r		+0.34 (mediano)				
	2015/16	MT	4.0	3.76	20.0	3.48	
		MC	72.0	(0.66)	68.0	(0.96)	
		Z	-1.941				
		r	-0.27 (pequeño)				
	–Dimensión de «percepción del rendimiento escolar»– 24. El mayor fracaso de los alumnos en las asignaturas de ciencias se debe fundamentalmente a que en su enseñanza se utilizan métodos inadecuados. (<i>modelo constructivista</i>)	2014/15	MT	11.1	3.63	0.0	4.19
			MC	63.0	(0.84)	96.3	(0.48)
Z			-3.095** ($p<0.01$)				
r			+0.42 (mediano)				
2015/16		MT	12.0	3.52	16.0	3.64	
		MC	60.0	(1.05)	68.0	(1.04)	
		Z	-0.548				
		r	+0.08 (despreciable)				

Los estudiantes se adscriben al Modelo Tradicional (MT) o al Modelo Constructivista (MC). Se recuerda que en las medias: 1 = modelo tradicional, 5 = modelo constructivista

Tabla 7.5. Estadísticos para las creencias que presentan mayores diferencias entre ambas promociones en los tamaños del efecto (r)

La tabla recoge 3 creencias curriculares asociadas al modelo tradicional. Como se sugirió en el Artículo 5, la evolución en las creencias asociadas a este modelo didáctico parecen ser las más dependientes de la promoción de los estudiantes, del contexto específico de formación. Además, dos de estas tres creencias guardan una relación estrecha entre sí: el uso de actividades innovadoras de enseñanza-aprendizaje –pequeñas investigaciones, proyectos, etc.– (ít. 14) y su finalidad –“construcción” o “aplicación” de conocimientos– (ít. 10).

En línea con lo dicho, se recuerda que las asignaturas de didáctica ofrecen oportunidades de aprendizaje a través de secuencias indagativas, como forma de reflexión sobre sus características y ventajas para la enseñanza de las ciencias. Por ello, teniendo en cuenta que las reacciones a la indagación presentan una dependencia notable según las características e interacciones entre los estudiantes, el andamiaje particular, las vías de resolución escogidas, etc. (Bárcena, 2015; Furtak et al., 2012; Hung & Loyens, 2012), la diferencia entre ambas promociones puede resultar justificable. Este hecho resulta de gran relevancia para los formadores, pues señala la necesidad de recabar las emociones de los futuros profesores en todo el proceso formativo (Shoffner, 2009), para actuar en consecuencia (Taconis et al., 2001). En este sentido, una estrategia que se podría incorporar a la propuesta es la del *grupo de discusión* sobre las actividades desarrolladas (Osborne & Collins, 2001), para obtener de forma complementaria las reflexiones individuales y grupales a medida que avanza el desarrollo del programa.

Por otra parte, la Tabla 7.5 recoge una proposición (ít. 5) sobre la utilización didáctica de las ideas de los alumnos –¿son errores a eliminar por el profesor?–. En este caso, en la promoción 2014/15 se detecta un avance significativo hacia una posición constructivista (con $r = +0.34$), mientras que en el grupo 2015/16 se produce un ligero retroceso hacia una tendencia tradicional ($r = -0.13$). Si este resultado se compara con la unanimidad detectada sobre la necesidad de trabajar en clase con las ideas de los alumnos (Tabla 7.2, ítem 4), se puede extraer una conclusión similar a la apuntada por otros autores. En un programa formativo puede resultar factible acostumbrar al futuro profesorado a explicitar las concepciones alternativas del alumnado a través de diversos instrumentos (Harris, Phillips & Penuel, 2012), pero adoptar una posición constructivista sobre el *uso didáctico de las ideas previas* suele requerir más tiempo de preparación (Levitt, 2002; Morrison & Lederman, 2003).

Puede observarse que los resultados obtenidos en la presente investigación parecen guardar una coherencia considerable entre sí. Los estudiantes del grupo 2014/15 se muestran bastante más proclives al uso de actividades de corte constructivista (pequeñas investigaciones, proyectos, etc.) y se oponen mucho más a la visión de *corregir* las ideas previas de un modo «transmisivo». En cambio, el grupo 2015/16 no presenta creencias tan próximas al modelo constructivista en los ítems 5, 10 y 14. En cualquier caso, dado que el uso didáctico de las ideas previas resulta un aspecto susceptible de interpretaciones diversas (Morrison & Lederman, 2003), en próximos trabajos se contempla comparar las creencias obtenidas a través del cuestionario con aquellas inferidas de las Unidades Didácticas realizadas (Solís et al., 2012).

Finalmente, el resultado obtenido para el ítem 24 es esperable atendiendo a lo ya explicado. Teniendo en cuenta que todas las diferencias relevantes entre ambas muestras son favorables a la promoción 2014/15 (en términos de apoyar una posición más constructivista), resulta lógico pensar que esta promoción asuma una visión más crítica sobre el efecto de la metodología docente en el rendimiento escolar. Como ya apuntaban autores como Benarroch et al., (2013), parece que la eficacia del Máster en Formación del Profesorado de Secundaria presenta una cierta especificidad, que parece acentuarse en el momento en que se proporcionan vivencias de aprendizaje de corte constructivista. Además, la interacción general entre los futuros profesores y su trabajo en grupos cooperativos puede dar lugar a una respuesta emocional diferente en los grupos-clase (Costillo, Borrachero, Brígido & Mellado, 2013). En este sentido, en línea con lo propuesto por Pilitsis & Duncan (2012), para futuras ediciones del Máster se contempla intensificar el proceso de recogida de información –creencias– a lo largo de todo el desarrollo de las asignaturas.

7.1.3. Objetivo 3: Pensamiento final sobre el diseño y uso de actividades escolares

Para terminar con la primera pregunta de investigación, sobre el efecto general de la propuesta en los futuros profesores, el tercer objetivo es el de «Caracterizar la visión final de los futuros profesores sobre el problema profesional “¿Cómo se pueden diseñar actividades de enseñanza-aprendizaje para una Unidad Didáctica?”». Para abordarlo, se debe retomar el Artículo 6 de la tesis (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016c).

En este trabajo se seleccionó una muestra de cuatro estudiantes previamente asignados a los modelos didácticos tradicional y constructivista³⁴ (dos en cada caso), que mostraban creencias coherentes a la luz de estos modelos. La intención era que, en entrevistas individuales, describieran su visión sobre las *actividades escolares*, y más en concreto sobre las que pueden resolverse por medio de la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (el método trabajado de forma más específica en la asignatura de Didáctica de la Química).

Una nueva panorámica del Artículo 6 (con múltiples fragmentos de las entrevistas) permite inferir, según los modelos didácticos, las creencias finales de los participantes sobre el cuarto problema profesional de la propuesta (Figura 7.1, pág. 248), a partir de un *análisis del contenido* (Bardin, 1996; Fraenkel, Wallen & Hyun, 2015).

³⁴ Para ello, como se explica en Rodríguez-Arteche y Martínez-Aznar (2016c), se recurre al cuestionario «Pensamiento Curricular y Profesional» en su modalidad de posttest.

La Tabla 7.6 recoge cinco categorías que emergen de las entrevistas donde se perciben diferencias obvias entre los futuros profesores asignados al modelo tradicional y aquellos que son próximos al modelo constructivista:

- Finalidad principal de la enseñanza de las ciencias
- Objetivos en relación con el aprendizaje de las ciencias
- Actividades importantes para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias
- Papel de la indagación en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias
- Emociones vinculadas a las metodologías indagativas

Varios de estos aspectos se vinculan directamente a la indagación, pues este era el foco principal de las entrevistas (su guion semiestructurado se muestra en el Anexo 3).

En las dos primeras categorías, «finalidad principal de la enseñanza de las ciencias» y «objetivos en relación con el aprendizaje de las ciencias» (ver Tabla 7.6), los estudiantes asignados al modelo *tradicional* presentan una visión de la ciencia como conjunto de conceptos, características, etc., incuestionables. Por ello, la finalidad de la educación científica y sus actividades debe ser la de “garantizar” la adquisición de estos conocimientos; los estudiantes deben revisar las explicaciones del profesor y estudiarlas.

En cambio, los futuros profesores próximos al *constructivismo* defienden que el conocimiento científico escolar debe ser “útil”, orientado a la resolución de problemas a través de un enfoque reflexivo de enseñanza-aprendizaje (Tabla 7.6). En coherencia con ello, el desarrollo de competencias científicas –con énfasis en las actitudes– se considera una meta fundamental; los estudiantes deben construir progresivamente el significado de los conceptos («encajar piezas») y desarrollar actitudes favorables hacia la ciencia.

Estos resultados se ajustan bien a las características que originan la propuesta de los modelos didácticos tradicional o transmisor y constructivista o alternativo (Fernández-González et al., 2001; Porlán et al., 1998; Pozo et al., 2006). Además, también guardan relación con el marco de «niveles en la reflexión» descrito por autores como Van Manen (1977) y Vázquez-Bernal et al. (2007b). En esta última propuesta, se justifica que la reflexión docente puede ir desde niveles más *técnicos* (el profesor debe aplicar eficazmente el conocimiento científico y educativo) hasta niveles más *prácticos* o *críticos* (el profesor debe juzgar la utilidad de sus acciones, para promover la construcción de un conocimiento relevante que permita formar ciudadanos críticos). Por ello, los resultados de la Tabla 7.6 sugieren una mayor «complejidad» y crítica (Vázquez-Bernal et al., 2007b) en el pensamiento de los futuros profesores vinculados al modelo constructivista.

	MODELO TRADICIONAL Gustavo y César *	MODELO CONSTRUCTIVISTA Alba y Diego *
Finalidad principal de la enseñanza científica	Transmitir una visión de la ciencia próxima a un supuesto conocimiento experto. «Hay que controlar qué es lo que va a aprender el estudiante». (223) «Con un guion muy abierto puede que uno no lleve a conclusiones. Hay que garantizar unos resultados». (223)	Facilitar la construcción de competencias científicas, incluyendo la valoración e interés hacia la ciencia. «Una prioridad de reflexión: por qué se va a hacer algo, por qué se ha obtenido un resultado [...] hay que dar libertad, los alumnos tienen ganas de probar y experimentar...». (222) «Que se acostumbren a hablar entre ellos de temas científicos... que salgan del centro y sigan hablando de estos temas». (222)
Objetivos de aprendizaje	Adquirir los significados concebidos por el profesor sobre los contenidos científicos. «Aprendizaje efectivo de conceptos, de qué características tiene cada situación... a través de explicaciones». (221) «Contenidos transmitidos por el profesor, revisados por el estudiante y estudiados». (221)	Construir un conocimiento orientado a la acción (en problemas) y en permanente revisión. «No es cuestión de “escupir” conocimientos, sino de resolver problemas a partir de ellos». (221) «Plantearse los conceptos de diferentes maneras e ir encajando piezas. Replantearse los “conceptos básicos”». (221)
Actividades escolares importantes	Comprobación de las explicaciones. Énfasis en ejercicios numéricos. «[MRPI] deja muchos flexos sueltos... habría que trabajar ejercicios con calculadora». (221) «Ejercicios de “toda la vida”: profesor transmite, estudiantes miran las fórmulas y resuelven. En el futuro lo van a necesitar». (221)	Actividades con una cierta apertura. Énfasis en competencias. «[Estudiantes] deben reflexionar qué es lo que se ha obtenido, qué no, por qué ha sucedido, qué pasos dar a continuación... No puede ser que el alumno sepa lo que va a obtener». (217) «Que los estudiantes tengan que pensar y razonar, que no sea algo puramente sistemático y de memorizar». (217)
Papel de la indagación en la enseñanza	Indagación como fin. «Hay que trabajar los bloques curriculares de “actividad científica”, las capacidades asociadas, los procesos de razonamiento...». (216) «Por lo menos hay que dar una idea de cómo se hace la Ciencia, de cómo se resuelve un problema científico». (217)	Indagación como medio y como fin. «Al implementar la MRPI creo que el rendimiento será mayor... los contenidos se comprenden mejor, se entiende su sentido, mejor que siguiendo “recetas”». (223) «La MRPI abarca una gran cantidad de parámetros a evaluar... muchísimos indicadores». (223) «[La MRPI] hace que los alumnos comprendan mejor lo que es la Ciencia, toda la parte que yo veo fascinante de la Ciencia». (222)
Emociones vinculadas a metodologías indagativas	Emociones positivas vinculadas a aspectos lúdicos. Emociones negativas en relación con las dificultades. «Debería tener una buena acogida, porque es una actividad lúdica en cierto modo, un contexto diferente, los estudiantes tienen bastante iniciativa...». (217) «Con los malos estudiantes, es posible que muchos ante una dificultad añadida al final lo dejen, se frustren y “pasen”». (223)	Emociones oscilantes, satisfacción final vinculada a la comprensión y a los logros. Ilusión hacia nuevos desafíos. «Puede que en un punto no sepan cómo seguir, no observen lo que pensaban... ahí puede que se frustren [...]». (218) «Pero una vez que cojan la dinámica, estoy convencido de que van a ser ellos los que me pregunten; esto hace que el alumno sea el protagonista». (222) «¡Incluso a mí me ha quedado todo más claro al hacer la MRPI! Nunca me había planteado esos conceptos básicos de esta forma». (218)

* Las categorías se ejemplifican con reflexiones de los futuros profesores. Se indica la página de la tesis donde aparece cada reflexión

Tabla 7.6. Enfoques sobre el problema profesional acerca del uso y diseño de actividades escolares (con énfasis en la visión sobre la indagación)

En relación con las actividades escolares consideradas como «importantes» y al «papel de la indagación» en la práctica docente, la Tabla 7.6 recoge visiones muy diferentes en ambos grupos de estudiantes:

- Los estudiantes asociados al modelo *tradicional* defienden los «ejercicios de toda la vida», los que se resuelven con calculadora tras escuchar las explicaciones del profesor. Justifican que «en el futuro los alumnos lo van a necesitar», lo que sugiere una visión *propedéutica* de la educación científica (Lorenzo et al., 2015), y un pensamiento en cierto modo acrítico (Vázquez-Bernal et al., 2007b), cuyo referente fundamental es la tradición (Porlán et al., 2010). Sin embargo, apoyan un uso ocasional de las actividades indagativas, ya que el aprendizaje sobre la indagación científica es un contenido presente en el currículo –indagación como fin– (Abd-El-Khalick et al., 2004).
- Los estudiantes vinculados al modelo *constructivista* proponen recurrir a actividades no excesivamente pautadas, que vayan más allá de la mera memorización y la aplicación de procesos sistemáticos. Es decir, parecen apoyar el uso de «problemas auténticos» a modo de investigación (Martínez-Aznar, 1990; Martínez-Aznar & Varela, 1996; Perales, 2000), lo que explica su vinculación del rendimiento escolar al desarrollo de competencias y a la resolución de situaciones problemáticas. Como también se describe en Rodríguez-Arteche y Martínez-Aznar (2016c), estos participantes no contemplan que la indagación conlleve inconvenientes para conseguir los objetivos del currículo.³⁵ Por una parte, defienden su encaje con el bloque sobre «la actividad científica» –indagación como fin– y, por otra, resaltan su utilidad para promover la construcción de significados sobre los contenidos científicos y el desarrollo del interés hacia la ciencia (una actividad «fascinante» a pesar de la imagen escolar habitual). Debido a esta visión un tanto crítica sobre las actividades escolares tradicionales (Vázquez-Bernal et al., 2012), estos futuros profesores apoyan el uso de la indagación como medio, además de como fin (Abd-El-Khalick et al., 2004; Meyer & Crawford, 2015).

Las visiones anteriores sugieren una aceptación mayor o menor de la indagación dependiente del modelo didáctico más global que asumen los futuros profesores (aspecto sobre el que volveremos al abordar el Objetivo 5). Además, se detectan diferencias entre ambos grupos de estudiantes en las «emociones vinculadas a las metodologías indagativas» (última categoría de la Tabla 7.6). En este caso, la diferencia no es tan simple como “emociones positivas” o “emociones negativas”, sino que tiene que ver con las relaciones que establecen para ambos tipos de percepciones, y con su secuencia temporal.

Los futuros profesores asignados al modelo *tradicional* indican que, por una parte, las actividades indagativas deberían tener una buena acogida, por su contraste con una mecánica repetitiva en las clases (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016c), por sus ca-

³⁵ Los aspectos negativos que contemplan sobre el uso de la indagación tienen que ver más con la dificultad que estos métodos pueden suponer para el alumnado, o con la complejidad de gestionar el aula –ver págs. 217-218, Artículo 6–.

racterísticas un tanto «lúdicas» y por proporcionar un alto grado de iniciativa al alumnado. Sin embargo, por otra parte señalan que la dificultad añadida que suponen puede provocar la frustración y el abandono de los estudiantes (sobre todo de «los malos»). Con ello, sugieren que la *incertidumbre* propia de los «problemas auténticos» se relaciona con aspectos fundamentalmente negativos (Ramírez et al., 1994).

En cambio, los estudiantes próximos al modelo *constructivista* argumentan que, más que una vinculación general con emociones positivas o negativas, la indagación iría ligada a una secuencia temporal de percepciones. Señalan que los escolares tendrían que superar obstáculos, y que en esos momentos es probable que experimentarían una sensación de *frustración*. Sin embargo, con la ayuda del profesor terminarían por «coger la dinámica», vencer los obstáculos y asumir un rol protagonista que haría que ellos mismos se plantearan nuevos interrogantes. Los futuros profesores indican que esta última etapa iría ligada a una emoción de *satisfacción* por haber superado las dificultades y por haber construido nuevos significados sobre los conceptos científicos. En este sentido, una participante con el grado de doctor señala: «¡Incluso a mí me ha quedado todo más claro al hacer la MRPI! Nunca me había planteado esos conceptos básicos de esta forma».

Cabe destacar que las ideas manifestadas por los últimos estudiantes son semejantes a las obtenidas en trabajos recientes de investigación, que describen oscilaciones en el estado emocional de los alumnos según: los obstáculos y logros, las interacciones sociales, la refutación de ideas arraigadas, la construcción de significados, etc. (Bellocchi & Ritchie, 2015; Broughton, Sinatra & Nussbaum, 2013; Tobin & Ritchie, 2012). Sin embargo, a pesar de su relevancia en el aprendizaje de las ciencias (Pintrich et al., 1993; Tyson, Venville, Harrison & Treagust, 1997), el campo de las emociones permanece relativamente inexplorado (Mellado et al., 2014). Por este motivo, en futuros trabajos se contempla profundizar el estudio sobre el modo en que los futuros profesores justifican el diseño y uso de actividades escolares en función de las emociones que pretenden promover en el alumnado. Ello permitiría seguir avanzando en el análisis del porqué los distintos perfiles del futuro profesorado se decantan por unas u otras estrategias y actividades de enseñanza-aprendizaje.

7.2. Resultados globales en relación con la segunda pregunta de investigación

El enunciado de la segunda pregunta de investigación es el siguiente: «¿Cómo es el desarrollo de la competencia científica y el aprendizaje sobre las características de la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI) por parte de los futuros profesores, a raíz de resolver problemas abiertos escolares en la asignatura de Didáctica de la Química?». Su discusión se organiza a través de los tres objetivos –capítulo 3– vinculados a esta cuestión.

7.2.1. Objetivo 4: Aprendizaje de los futuros profesores sobre los cambios físicos y químicos a través de la resolución de problemas abiertos escolares

Este apartado se refiere al cuarto objetivo de la investigación, enunciado como: «Analizar el nivel de competencia de los futuros profesores en la resolución de los problemas sobre cambios físicos y químicos». Para su desarrollo, deben retomarse los Artículos 2 y 3 de la tesis (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016a, 2016b).

En primer lugar, se recuerda que estos artículos describen la resolución por parte de los estudiantes de dos de las situaciones problemáticas de una Unidad Didáctica (UD) aportada por la formadora: «Cambio y diversidad en la naturaleza» (diseñada como ejemplo de propuesta formativa para 3º de ESO). Esta UD se articula como una secuencia de cuatro problemas abiertos de carácter experimental, mostrados a continuación:

1. ¿Qué puede ocurrir cuando dos sustancias se ponen en contacto?
2. ¿Qué puede ocurrir cuando a una sustancia se le añade agua?
3. ¿Qué puede ocurrir cuando se calienta una sustancia?
4. ¿Qué puede ocurrir cuando una sustancia se pone en contacto con la corriente eléctrica?

Los problemas analizados en las publicaciones son el 1 (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016a) y el 3 (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016b), que son los trabajados en los grupos colaborativos (los otros dos se resuelven en el grupo-clase completo). Su finalidad es la de contribuir a la comprensión y representación de los cambios físicos y químicos en las sustancias, a partir de sus tres niveles de representación –macroscópico, microscópico y simbólico– (Johnstone, 1982, 2006) y del uso de «modelos teóricos intermediarios» –cinético-molecular, atómico de Dalton y estructural– (Clement, 2000). El análisis de estas situaciones problemáticas requiere transitar entre unos y otros niveles de representación, hecho que busca promover el desarrollo de destrezas modelizadoras –parte importante de la competencia científica– (Aragón, Oliva & Navarrete, 2014; Kozma & Russell, 1997) y la construcción de conceptos más complejos e interrelacionados sobre las *sustancias* y los *cambios* que sufren (Martín del Pozo, 1998, 2001; Merino & Izquierdo, 2011). La intención didáctica de la formadora al plantear la UD se recoge en la Tabla 7.7 –ver también (Martínez-Aznar et al., 2013)–, en términos de dimensiones

competenciales (conocimientos, capacidades y actitudes) para la competencia científica. Esta forma de plantear el análisis didáctico de un tema es semejante a otros instrumentos para explicitar el CDC, como los CoRes (Hume & Berry, 2011; Lehane & Bertram, 2016).

Conocimientos (El estudiante debe saber que) *	Capacidades (El estudiante debe ser capaz de) *	Actitudes (El estudiante debe implicarse en-) *
<p>Cuando se modifican las propiedades de las sustancias –solubilidad, densidad, etc.– se dice que se ha producido un cambio químico.</p> <p>En situaciones de la vida diaria (i.e., dejar caer una piedra, derretir mantequilla, cocer un huevo...), identificar cuando se produce un cambio físico o un cambio químico atendiendo a la modificación de las propiedades.</p> <p>En un cambio o reacción química las sustancias iniciales se denominan reactivos y las finales productos. [C1] [C2]</p>	<p>Resolver situaciones problemáticas relacionadas con:</p> <ul style="list-style-type: none"> - poner en contacto sustancias sólidas (i.e., A e B), - añadir agua a una sustancia (i.e., C), - calentar sustancias (i.e., D), - pasar una corriente eléctrica a través de una sustancia (i.e., agua). <p>[R1 – R7]</p> <p>Hacer los informes correspondientes a las situaciones problemáticas indicando: formulación de los problemas, emisión de hipótesis, estrategias experimentales, resolución y conclusiones. [CO1]</p>	<p>Conservar y cuidar el material de laboratorio y respetar las normas de seguridad.</p> <p>Aceptar que las conclusiones se derivan del proceso de resolución, de los datos, etc., y no de las opiniones.</p> <p>Integrarse y cooperar en un proyecto colectivo: participando en su concepción, implicándose en su desarrollo, presentándolo y valorando la contribución de cada miembro del grupo, asumiendo las reglas y aceptando el éxito/fracaso del proyecto.</p> <p>Asumir que la redacción del informe es un requisito del proceso de aprendizaje. [Ac1] [Ac2]</p>
A nivel microscópico, el cambio químico implica reorganización de los átomos que intervienen en el proceso. [C1]	Representar a nivel submicroscópico los cambios físicos y químicos implicados en las situaciones problemáticas anteriores. [R6]	
En cualquier cambio se conserva la masa y el n° y tipo de átomos. [C2]	Manejar/utilizar las representaciones microscópicas para ajustar las reacciones químicas, considerando la conservación de la materia. [R6]	
Los cambios químicos se representan como ecuaciones ajustadas, con una flecha que separa los reactivos de los productos. (i.e., $A + B \rightarrow C + D$). [C2]	Utilizar el modelo atómico de Dalton o el modelo <i>estructural</i> para interpretar y explicar los cambios químicos. [A4]	

* Se expresan los indicadores de evaluación del «Modelo para la Elaboración de UD», en términos de *conocimientos* [C], *capacidades* ([A] para aplicación, [R] para razonar y [CO] para comunicación) y *actitudes* [Ac] (Martínez-Aznar et al., 2013)

Tabla 7.7. Caracterización de los contenidos en términos competenciales, en la Unidad Didáctica «Cambio y diversidad en la naturaleza» (3° de ESO)

De este modo, la asignatura de Didáctica de la Química permite que los estudiantes “asuman el rol” de sus futuros alumnos de Secundaria y tengan la experiencia de aprender indagando, para contribuir a la construcción de CDC sobre los *cambios físicos y químicos*. También se pretende facilitar la comprensión de los rasgos de la MRPI –potencialidades, retos para el profesor y el alumno, etc.—³⁶ en un contexto de aprendizaje real (Pilitsis & Duncan, 2012).

Cabe recordar que los artículos del compendio hacen hincapié en la importancia del *andamiaje* (scaffolding) por parte de la profesora, para guiar la construcción de conocimientos al seguirse una metodología indagativa como la MRPI (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2015b; Furtak et al., 2012; Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007). Entre otros aspectos, el Artículo 2 (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016a) describe las dificultades que surgen en los grupos de futuros profesores en relación al *contacto* entre las dos sustancias, y cómo la formadora puede reorientar las resoluciones de los participantes. También se expone que a través de una estrategia de formulación de preguntas, se favorece la inclusión de contenidos en el problema: el aspecto del color, los reactivos limitante y excedente, el uso de representaciones microscópicas a partir de un modelo teórico, etc. De este modo, a partir de un número “reducido” de situaciones problemáticas es posible abordar, de una forma activa, reflexiva y motivadora, los contenidos curriculares de un curso escolar de física y química (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016b). Con ello, la propuesta formativa para la asignatura de Didáctica de la Química pretende combatir una creencia extendida sobre la indagación, que indica que estos métodos suelen consumir demasiado tiempo de aula, dificultando la culminación de los requisitos curriculares (Gyllenpalm et al., 2010; Vázquez-Bernal et al., 2010).

Otro aspecto de gran importancia en esta etapa de formación inicial del profesorado, descrito en los artículos de la tesis, es la *observación* de las estrategias de los *formadores* al implementar este tipo de actividades escolares. Esta característica se considera fundamental para contribuir a la construcción de CDC desde las asignaturas, pues su desarrollo va ligado a la *reflexión sobre la práctica* (Acevedo, 2009; Garritz, 2013; Park & Suh, 2015) de la que generalmente carecen los futuros profesores. Así, la reflexión sobre las estrategias metodológicas de la profesora de didáctica y del observador participante (el autor de la tesis), junto con el aprendizaje conseguido por los estudiantes del Máster, se consideran elementos clave en el desarrollo del CDC.

En esta línea, a continuación se retoman varios aspectos cuyo estudio complementa los artículos:

- A. El análisis de la evolución de los participantes en sus logros sobre las dimensiones competenciales (DC) de la MRPI, fruto de la discusión grupal y las revisiones por parte de la formadora.

³⁶ El análisis del aprendizaje sobre las características de la MRPI como ejemplo de método indagativo corresponde al Objetivo 5 de la investigación.

- B. El estudio de tipo cualitativo sobre las DC donde la evolución entre los dos problemas abiertos es mayor. Se pretende analizar en qué consiste esta mejora.

A) Evolución en los logros sobre las dimensiones competenciales de la MRPI

Para comprender esta sección, cabe recordar que tras la entrega de los informes individuales sobre la resolución de los problemas, se realiza una puesta en común de los aprendizajes. Además, los documentos revisados por la formadora se devuelven a los estudiantes, para promover su reflexión y mejora en los siguientes retos.

De forma complementaria –y con fines indagativos–, antes de proceder a la revisión individual de los informes para ambos problemas (1 y 3) los investigadores deben definir lo que puede considerarse como “resolución satisfactoria” en un nivel de máster. Con ello, es posible establecer niveles de logro desde 0 –irrelevante– hasta 4 –muy satisfactorio– (ver Artículos 2 y 3) para las distintas dimensiones competenciales (DC) de la *Metodología de Resolución de Problemas como Investigación*:

- DC1.1. Representación cualitativa del problema (marco teórico)
- DC1.2. Reformulación del problema
- DC2. Emisión de hipótesis
- DC3.1. Identificación y control de variables
- DC3.2. Toma de decisiones para el problema
- DC4. Resolución del problema / Desarrollo de la experimentación
- DC5. Análisis de resultados

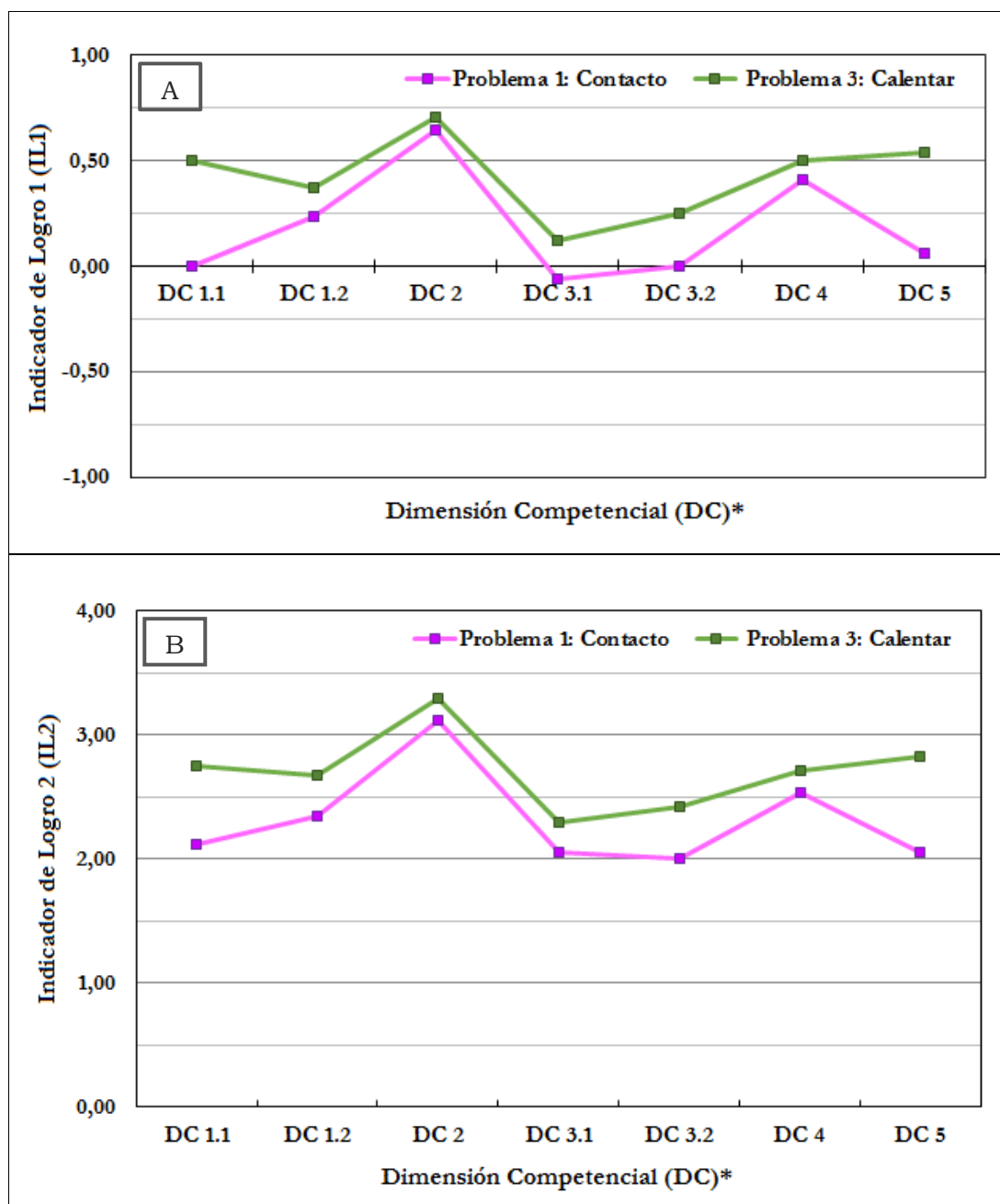
De este modo, los informes entregados pueden ser categorizados en sus niveles de logro (con el consenso entre los investigadores), dando lugar a datos de frecuencias en cada DC.

A continuación, a partir de estos resultados se calculan dos indicadores de logro utilizados en otros trabajos del grupo de investigación (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005; Martínez-Aznar & Varela, 2009; Pavón & Martínez-Aznar, 2014), para analizar la evolución en las DC entre la resolución del problema 1 y el problema 3.³⁷ Estos indicadores son:

- Indicador de Logro 1 (IL1). Diferencia entre estudiantes en los niveles superiores (3-4) e inferiores (0-1), normalizada entre el número total de participantes. Rango: entre -1 y +1.
- Indicador de Logro 2 (IL2). Valor medio alcanzado en cada dimensión competencial. Rango: entre 0 y 4.

³⁷ Datos correspondientes a la promoción 2015/16. Aunque la resolución experimental de los problemas se desarrolla en equipos cooperativos, los informes finales son individuales.

Las gráficas de los IL (Figura 7.7) permiten constatar una mejoría general entre la resolución del problema inicial de la UD («¿Qué puede ocurrir cuando dos sustancias se ponen en contacto?») y el problema abordado en su etapa final («¿Qué puede ocurrir cuando se calienta una sustancia?»). Ambos indicadores de logro revelan tendencias semejantes.



* DC1.1: representación cualitativa (marco teórico); DC1.2: reformulación; DC2: emisión de hipótesis; DC3.1: identificación y control de variables; DC3.2: toma de decisiones; DC4: resolución del problema; DC5: análisis de resultados

Figura 7.7. Indicadores de logro 1 (A) y 2 (B) para las DC, en los problemas sobre el contacto entre dos sustancias, P1, y el calentamiento de una sustancia, P3

A continuación, se presenta una discusión sobre las DC que obtienen mejores y peores resultados, y aquellas donde se produce una mayor evolución en el transcurso de la propuesta formativa. A partir de la revisión de la Figura 7.7, puede concluirse que:

- *Los peores resultados se obtienen en la fase 3 de la MRPI, «diseño de estrategias de resolución», que abarca la identificación y control de variables y la toma de decisiones para resolver los problemas.*

Este resultado puede ser esperable debido al hábito previo –escolar y universitario– de los participantes de afrontar el trabajo experimental a través de guiones cerrados (Dillon, 2008; Madsen, McKagan & Sayre, 2015). De forma coincidente, el trabajo de Martínez-Aznar y Varela (2009) sobre el uso de la MRPI por parte de futuros maestros de primaria, refleja que esta tercera etapa de la metodología es la que obtiene un valor final de IL1 más bajo (+0.19). Autores como Ferrés, Marbà y Sanmartí (2015) también apuntan hacia una tendencia similar, en relación con trabajos de indagación científica realizados durante el Bachillerato.

Sin embargo, otros estudios sobre UD basadas en la resolución de problemas con la MRPI –con escolares– demuestran que, a pesar de las dificultades iniciales en esta fase, un uso continuado de la MRPI da lugar a una mejora estadísticamente significativa en estas capacidades (Bárcena, 2015; Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005; Varela & Martínez-Aznar, 1997a). En el estudio presente, a pesar de la limitación de haber evaluado solo dos problemas, también se observa una ligera mejoría en el proceso. Por ejemplo, el indicador 1 para la DC3.1 –identificación de variables– pasa de un valor negativo IL1 = -0.06 (hay más estudiantes en los niveles inferiores que en los superiores) a otro positivo, IL1 = +0.13. En el caso de la DC3.2 –toma de decisiones– la evolución es aún mayor, independientemente del indicador de logro que se considere. Por ello, estos resultados señalan la necesidad de seguir trabajando en una línea indagativa en esta y otras asignaturas del Máster. También se sugiere la conveniencia de replantear el trabajo experimental en la escuela y en la universidad, de modo que se propongan retos donde los estudiantes tengan que tomar sus propias decisiones para resolverlos. Esta ha sido la mayor «deficiencia» observada en relación con la competencia científica de los futuros profesores.

- *En el conjunto de los dos problemas, los mejores resultados se obtienen en las Dimensiones Competenciales 2 (emisión de hipótesis) y 4 (resolución del problema).*

En relación con la DC4, y una vez asumido un protocolo de resolución experimental, la descripción razonada de los procedimientos, observaciones, datos obtenidos, etc. (objetivos de esta fase) sí que suele formar parte de la práctica escolar y universitaria habitual (Simarro, Couso & Pintó, 2013), lo que puede explicar sus mejores resultados desde un inicio. En el caso de la formación inicial de maestros –secuencia de problemas propuesta en Martínez-Aznar y Varela (2009)–, la DC4 también obtiene buenos resultados en comparación con el conjunto, en concreto un valor final IL1 = +0.43 similar al mostrado en la Figura 7.7. No obstante, los aprendizajes relativos en esta cuarta etapa de la

MRPI parecen ser notablemente más bajos en otros estudios sobre resolución de problemas abiertos en la ESO (Rosa, 2016) y el Bachillerato (Bárcena, 2015). Este hecho parece sugerir, como no podría ser de otra manera, que la experiencia universitaria de los futuros profesores en relación con el trabajo experimental –aunque sea guiado– (Madsen et al., 2015), juega a favor de su desempeño en la DC4. Sin embargo, conviene matizar que la evolución en esta dimensión competencial es de las menores del conjunto.

En lo que respecta a la DC2 (emisión de hipótesis), los indicadores de logro son los mayores del grupo de capacidades consideradas, una situación similar a la del estudio mencionado sobre la titulación de magisterio –esta etapa obtiene un dato final IL1 = +0.66–. En coherencia con lo señalado por otros autores (Chamizo & Izquierdo, 2005; Kang, Windschitl, Stroupe & Thompson, 2016), los resultados del grupo de investigación en el que se encuadra esta tesis demuestran la dependencia del contexto de los problemas en los resultados alcanzados en la emisión de hipótesis. Así, en las secuencias investigativas sobre genética y salud (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005), ecología (Rosa, 2016) u otras problemáticas de tipo CTSA (Rodríguez-Arteche, Martínez-Aznar & Garitagoitia, 2016), los resultados en la DC2 son más positivos que en otras secuencias para niveles educativos superiores sobre física (Varela & Martínez-Aznar, 1997a) o química (Bárcena, 2015). En el estudio que nos ocupa, el conocimiento general de los futuros profesores sobre los «cambios físicos y químicos» parece favorecer la emisión de hipótesis sobre la temática.

- *La mayor evolución se produce en las fases 1 –análisis cualitativo– y 5 –análisis de resultados– de la MRPI*

En relación con la primera etapa, centrada en la construcción de conocimientos necesarios e interrelacionados en el marco del problema (DC1.1) y en la reformulación de los enunciados en términos operativos (DC1.2), parece que la discusión grupal final y la revisión de los informes por parte de la formadora dan lugar a una mejora muy relevante. Por ejemplo, el indicador 1 para la DC1.1 avanza desde un valor IL1 = 0.00 hasta otro IL1 = +0.50 (ver Figura 7.7). De forma semejante, el estudio de Martínez-Aznar y Varela (2009) sobre el trabajo con la MRPI por parte de futuros maestros demuestra que la mejora más acusada en el proceso formativo sucede en la DC1, donde se alcanza un valor final IL1 = +0.80. Estos resultados sobre la evolución en esta fase de la MRPI encajan con los de otros trabajos del grupo de investigación –con escolares–, en relación con problemas de mecánica y electricidad (Varela & Martínez-Aznar, 1997a), reacciones químicas (Bárcena, 2015) o genética (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005). La excepción corresponde al desempeño de los estudiantes de un grupo de diversificación curricular (Pavón & Martínez-Aznar, 2014): en este caso, la fase 1 es la que acarrea mayores dificultades, hecho que puede ser esperable debido a las dificultades y a los aprendizajes de partida de estos alumnos.

En lo que respecta al análisis de resultados (DC5), la evolución detectada en el grupo de futuros profesores de física y química es notable: en el caso del indicador 1, desde un

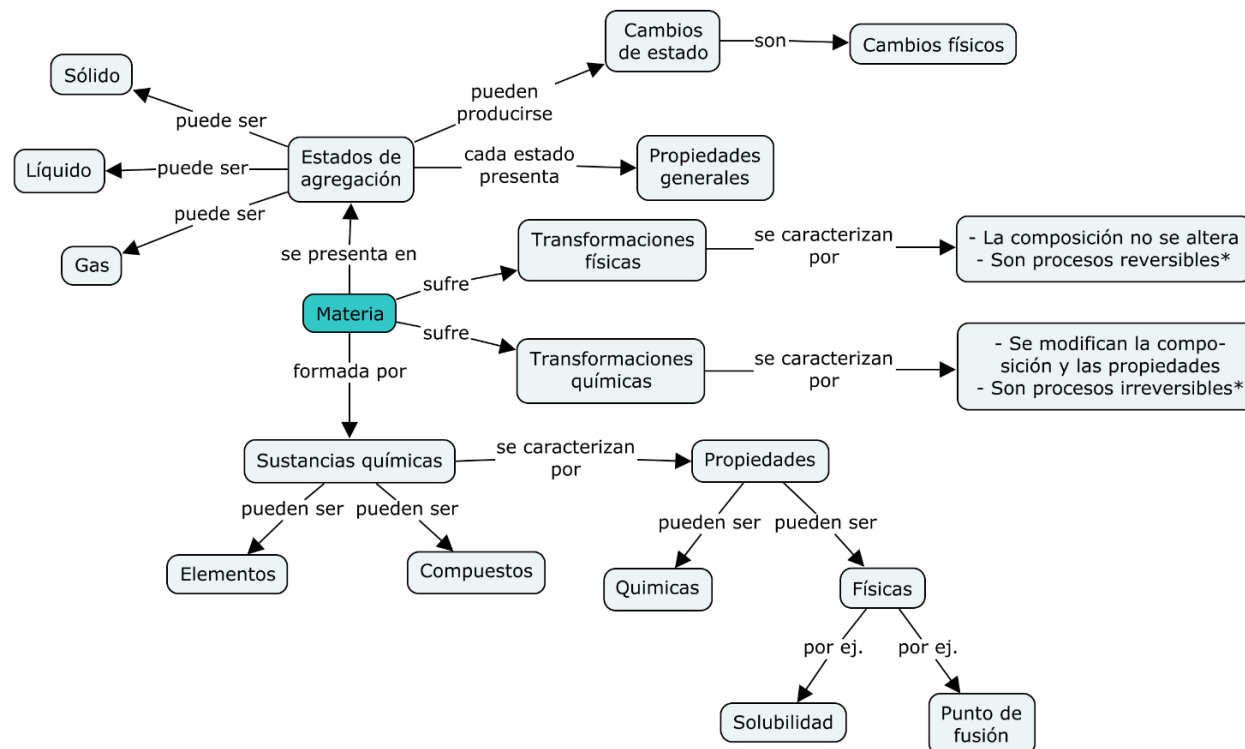
valor $IL1 = +0.06$ se alcanza un resultado final $IL1 = +0.54$. En relación con otras investigaciones, es posible que esta sea la capacidad de la MRPI en la que el logro final de los futuros profesores destaque más sobre la de otros estudiantes. En el trabajo anteriormente citado sobre la titulación de magisterio, el valor final obtenido para esta fase es $IL1 = +0.34$ (el segundo más bajo del conjunto de DC). De forma similar, otros trabajos del grupo de investigación para el contexto de la biología en la ESO (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005; Rosa, 2016) también concluyen que el análisis de resultados (DC5) resulta un procedimiento costoso para los escolares. Sin duda, el bagaje científico previo de los participantes en esta investigación facilita el desempeño en esta etapa de la MRPI, muy promovida a nivel universitario.

A pesar de la limitación de analizar solo dos problemas, su discusión a partir de la Figura 7.7 ha permitido obtener indicios sobre los logros y dificultades de los futuros profesores en relación con las dimensiones competenciales (DC) de la MRPI. No obstante, conviene profundizar, por medio de un análisis de tipo cualitativo, en las dos dimensiones que progresan de manera más acusada: la representación cualitativa de los problemas (DC1.1) y el análisis de resultados (DC5). ¿En qué consiste esta mejoría?

B) Estudio cualitativo sobre la DC1.1 (representación cualitativa) y la DC5 (análisis de resultados)

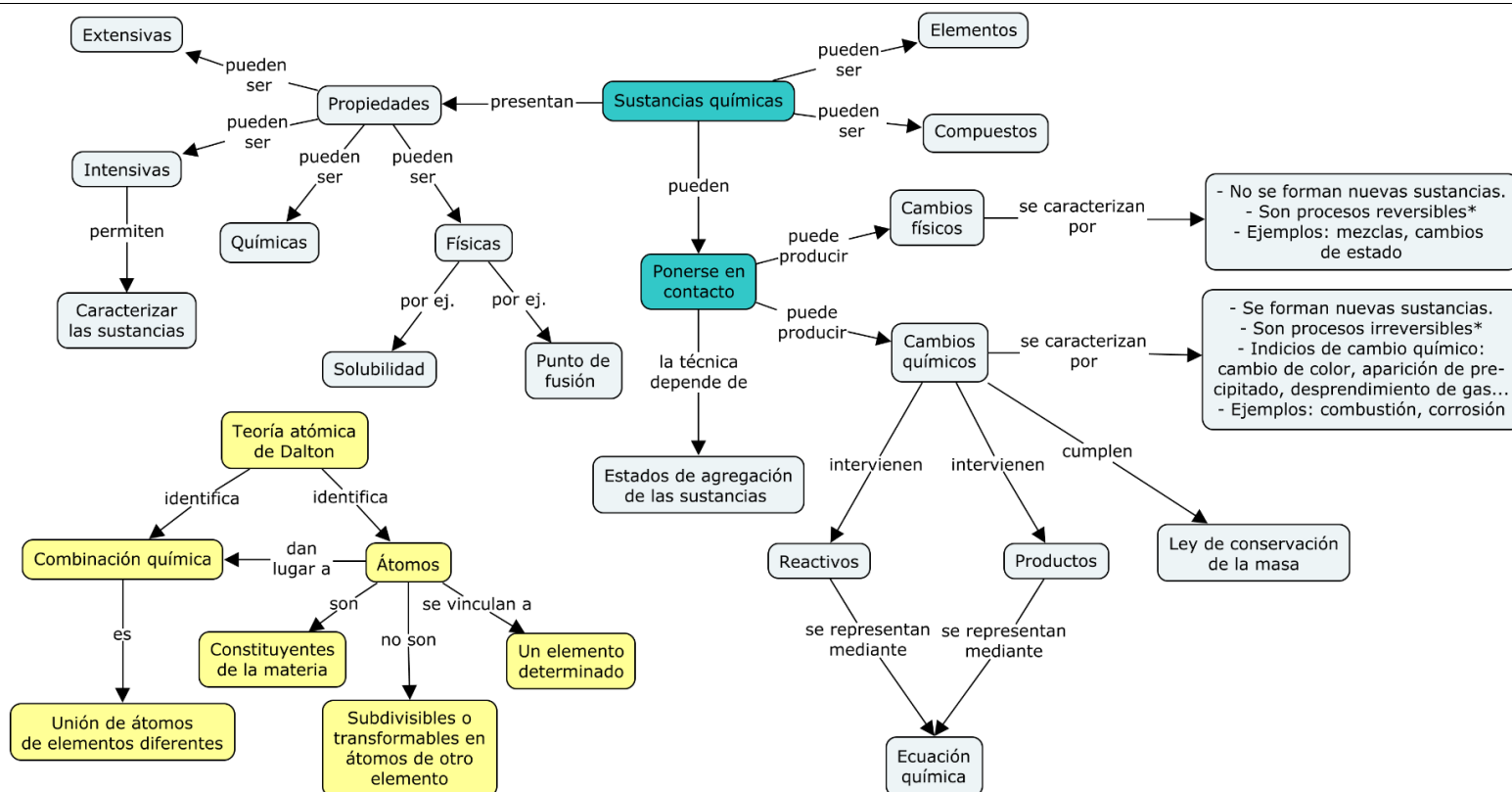
Aquí se sigue un enfoque metodológico de *análisis del contenido* (Bardín, 1996; Fraenkel et al., 2015). En relación con la DC1.1, el Artículo 2 del compendio (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016a) incluye una tabla que indica los contenidos descritos en la representación cualitativa, según el nivel de logro 1–4 de las producciones (pág. 124). Sin embargo, este artículo no incorpora la conexión establecida entre estos contenidos. Por ello, a partir de los textos y esquemas presentados en los informes se elaboran *mapas conceptuales*, como redes de contenidos jerarquizados y unidos mediante palabras de enlace (İngeç, 2009; Novak & Cañas, 2007). Este modo de representar el análisis cualitativo realizado por los futuros profesores permite obtener una mejor imagen de la información procesada (Ezquerro, Fernández-Sánchez & Magaña, 2015b; Rivadulla, García-Barros & Martínez-Losada, 2016).

Para cada uno de los problemas analizados, las Tablas 7.8 – 7.11 muestran un ejemplo de mapa conceptual vinculado a los niveles de logro inferiores 1 o 2, y superiores 3 o 4. En cada caso, se incluye una descripción breve sobre el desempeño de los futuros profesores en el análisis cualitativo de los problemas. La *inferencia* de los mapas a partir de los informes presentados se justifica en la Tabla 7.12.



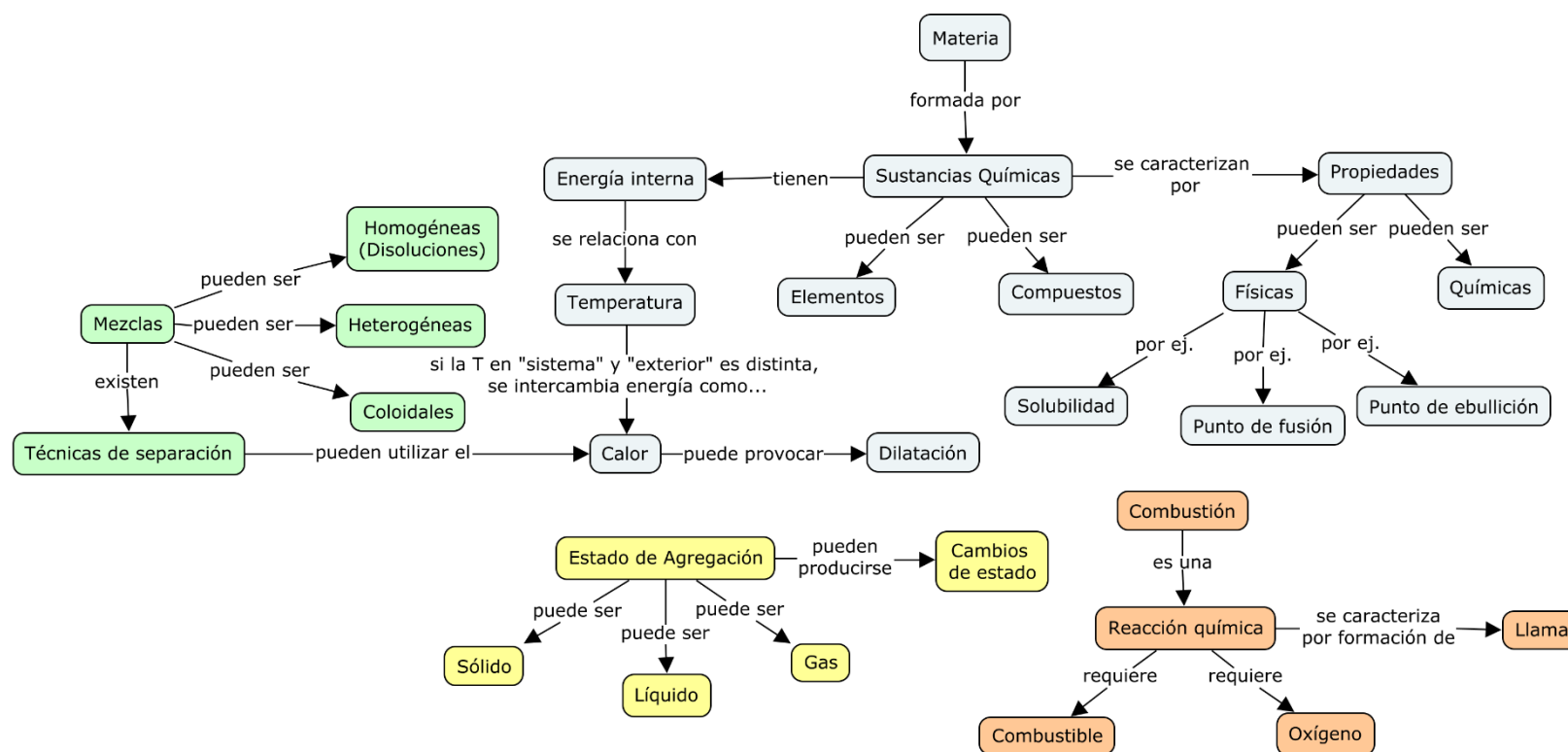
El centro del análisis es la *materia* (concepto general), que se concreta en las diferentes *sustancias químicas* que la forman; ésta puede sufrir *transformaciones físicas* (p.ej., cambios de estado) o *químicas*, pero la clasificación no se justifica lo suficiente. Solo se alude al posible cambio en las propiedades –nivel macroscópico– y en la composición –nivel microscópico “genérico”–. De forma semejante a la tendencia detectada por Martín del Pozo (2001), no se utilizan los niveles microscópico y simbólico para definir las reacciones; tampoco se aportan ejemplos concretos en el contexto del problema, ni se define el “*contacto*”. Sí que se considera una transposición didáctica* para la ESO: identificar los cambios químicos como irreversibles.

Tabla 7.8. Mapa conceptual para un análisis cualitativo (DC1.1) asignado a un nivel de logro *inferior*, sobre «¿Qué puede ocurrir cuando dos sustancias se ponen en contacto?»



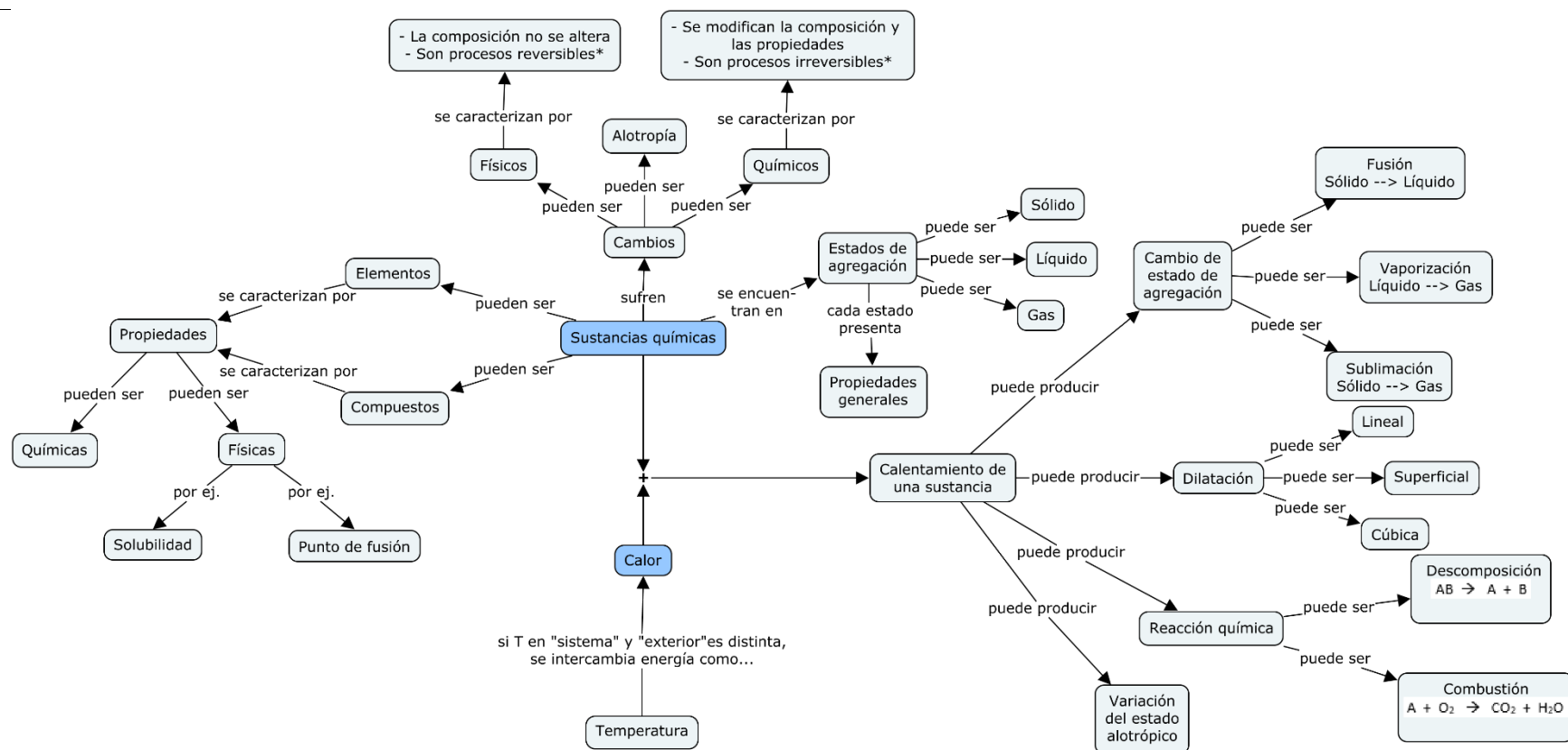
El centro del discurso lo forman los conceptos de *sustancia química* (aquello que puede identificarse por poseer *propiedades características*, y que permite distinguir *elementos* y *compuestos*) y *contacto* (como aproximación entre sustancias que puede dar lugar a una reorganización atómica). Se describe que el contacto puede producir *cambios físicos y químicos*; a partir de una transposición didáctica*, se identifican como reversibles/irreversibles, respectivamente. A diferencia de la Tabla 7.8, se mencionan ejemplos concretos de ambos cambios, *indicios* que permiten distinguir un cambio químico –coloración, precipitación, desprendimiento de gas, etc.– y se justifica su nivel de representación simbólico (*ecuación química*). También se enuncia la *ley de conservación de la masa*, pero solo en relación al cambio químico. Finalmente, se presenta el modelo de la *teoría atómica de Dalton* como herramienta a utilizar en el problema, pero no se relaciona con los otros conceptos.

Tabla 7.9. Mapa conceptual para un análisis cualitativo (DC1.1) asignado a un nivel de logro *superior*, sobre «¿Qué puede ocurrir cuando dos sustancias se ponen en contacto?»



El análisis sobre lo que puede suceder al calentar una sustancia muestra una gran “fragmentación”. Se parte de la *materia*, formada por *sustancias químicas* que pueden identificarse a partir de sus *propiedades*. Se describe que las sustancias poseen *energía interna*, relacionada con la *temperatura* a la que se encuentran; esto último da pie a introducir el *calor* como energía en tránsito. Sin embargo, no se justifica el aspecto fundamental abordado en el problema: los *cambios físicos y químicos* como fruto del calentamiento de una sustancia. No se explica en qué consisten estos cambios (niveles de representación) ni los posibles indicios para identificarlos. Tan solo se describen como contenidos útiles para el problema, pero “inconexos”, los *cambios de estado* y la *combustión*.

Tabla 7.10. Mapa conceptual para un análisis cualitativo (DC1.1) asignado a un nivel de logro *inferior*, sobre «¿Qué puede ocurrir cuando se calienta una sustancia?»



El centro del discurso lo forman los conceptos de *sustancia química* (aquello que puede identificarse por poseer *propiedades características*, y que permite distinguir *elementos* y *compuestos*) y *contacto* (como aproximación entre sustancias que puede dar lugar a una reorganización atómica). Se describe que el contacto puede producir *cambios físicos y químicos*; a partir de una transposición didáctica*, se identifican como reversibles/irreversibles, respectivamente. A diferencia de la Tabla 7.8, se mencionan ejemplos concretos de ambos cambios, *indicios* que permiten distinguir un cambio químico –coloración, precipitación, desprendimiento de gas, etc.–. y se justifica su nivel de representación simbólico (*ecuación química*). También se enuncia la *ley de conservación de la masa*, pero solo en relación al cambio químico. Finalmente, se presenta el modelo de la *teoría atómica de Dalton* como herramienta a utilizar en el problema, pero no se relaciona con los otros conceptos.

Tabla 7.11. Mapa conceptual para un análisis cualitativo (DC1.1) asignado a un nivel de logro *superior*, sobre «¿Qué puede ocurrir cuando se calienta una sustancia?»

La Tabla 7.12 mostrada a continuación recoge un fragmento textual que ha permitido elaborar una parte de uno de los mapas conceptuales –los conceptos clave están recuadrados–, y un esquema incorporado a otro informe (relacionado con otro de los mapas).

Ejemplo de representación cualitativa –fragmento– relacionada con los conceptos de la Tabla 7.10 *	
<p>¿QUÉ PUEDE OCURRIR CUANDO SE CALIENTA UNA SUSTANCIA?</p> <p>La materia es todo aquello que forma los cuerpos, ocupa un espacio, posee masa [...] Las sustancias químicas son una forma de materia que tienen [...] propiedades características que permiten identificarlas. Estas propiedades pueden ser físicas y químicas. [...]</p> <p>Las sustancias poseen energía interna debido a su temperatura, que es esencialmente a escala microscópica la energía cinética de sus moléculas. [...] El calor es la energía intercambiada entre un sistema y el medio que le rodea, como consecuencia de las diferencias de temperatura [...]</p>	A
Ejemplo de representación cualitativa –esquema incorporado– relacionada con los conceptos de la Tabla 7.11 *	
<p>¿QUÉ PUEDE OCURRIR CUANDO SE CALIENTA UNA SUSTANCIA?</p>	B

* A) Los recuadros indican los conceptos unidos en los mapas conceptuales. B) El esquema está incluido en el informe del estudiante

Tabla 7.12. Fragmentos del análisis cualitativo (DC1.1) de dos futuros profesores, utilizados para elaborar los mapas conceptuales

De los mapas conceptuales presentados, se infieren varios aspectos sobre el desempeño de los participantes en la representación cualitativa de los problemas (DC1.1), relacionados con la *amplitud conceptual* o su *organización jerárquica* (Martín del Pozo, 2001). En concreto, los futuros profesores que obtienen niveles de logro 3 o 4 en esta dimensión competencial:

- Describen el nivel de representación macroscópico de una reacción (propiedades) y, además, incluyen referencias al nivel simbólico (ecuación química) y, en menor medida, al nivel microscópico.
- Presentan una mayor interrelación entre los procesos a los que se someten las sustancias (contacto o calentamiento), los cambios físicos y químicos que pueden suceder en cada caso –“posibilidades” en el contexto de los problemas– y los indicios para poder determinarlos.

Si se retoman los datos de la Figura 7.7 (pág. 278) y aquellos presentados en los artículos 2 y 3 de la tesis, se comprueba que en el problema *inicial* un 58.8% de los estudiantes obtienen un nivel de logro entre 0 y 2 para la DC1.1, por un 41.2% que consigue niveles 3 y 4. En cambio, en el problema *final* la situación se invierte: un 41.7% de los futuros profesores obtienen niveles entre 0 y 2, mientras que el porcentaje para los niveles superiores asciende a un 58.3%. Además, la evolución en los niveles medios alcanzados es aún mayor: de $IL2 = 2.12$ se pasa a $IL2 = 2.75$.

Por ello, puede concluirse que el trabajo con la MRPI en la asignatura de Didáctica de la Química contribuye a mejorar el desempeño de los futuros profesores, en relación al *uso de los niveles de representación* de las reacciones químicas y a la *conexión de los conceptos* para resolver situaciones problemáticas sobre los cambios físicos y químicos. Se prevé que el progreso –y la autorreflexión– de los participantes en la construcción de representaciones cualitativas para diseñar procesos de indagación, permita que en el futuro presten una ayuda adecuada al alumnado en su desarrollo de la competencia científica.

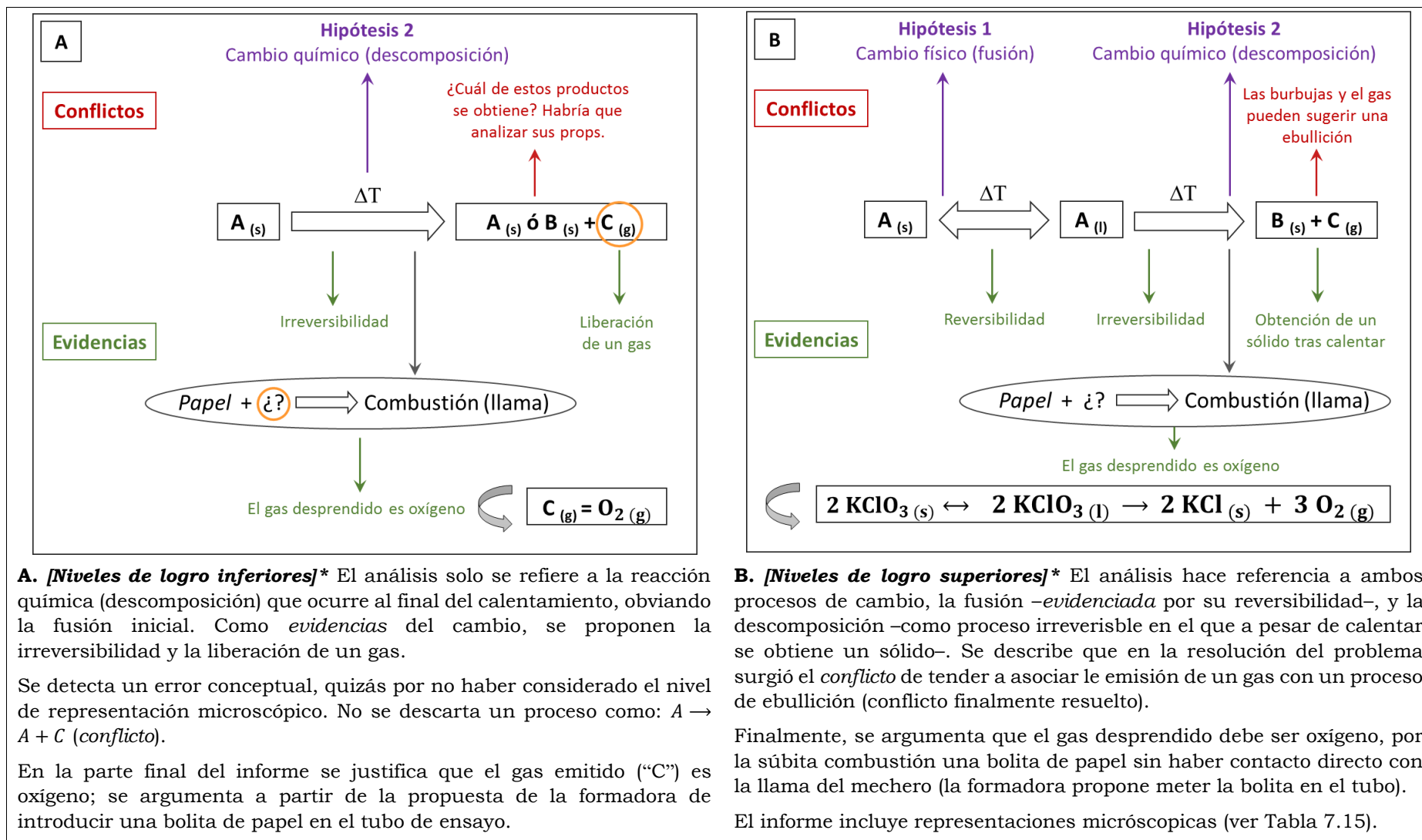
A continuación, se realiza un análisis semejante sobre la DC5 (análisis de resultados), la etapa final en la resolución de los problemas. Para ello, a partir de los informes de los futuros profesores, se elaboran *esquemas* que contienen las representaciones simbólicas descritas, las «evidencias» en las que se apoyan para proponerlas y «conflictos» a los que se han enfrentado en el proceso –tanto los que han podido “resolverse” como aquellos que quedan “pendientes” para el futuro–.

Estos esquemas se muestran en las Tablas 7.13 y 7.14. En cada caso, se incluye una producción asignada a los niveles de logro inferiores 1 o 2, y superiores 3 o 4. Las tablas también incorporan descripciones breves sobre el desempeño de los futuros profesores.

<p>A</p> <p>Evidencias</p> <p>Hipótesis 1 Cambio químico</p> <p>"C" presenta nuevas propiedades, diferentes a las de los reactivos*</p> <p>$A_{(s)} + B_{(s)} \rightarrow C_{(s)}$</p>	<p>B</p> <p>Evidencias</p> <p>Hipótesis 1 Cambio químico</p> <p>Los reactivos son solubles en agua</p> <p>"C" es insoluble en agua</p> <p>$A_{(s)} + B_{(s)} \rightarrow C_{(s)} + ?$</p> <p>Conflictos</p> <p>¿Qué habría pasado si se hubieran preparado disoluciones?</p> <p>Para apreciar cambio hay que triturar</p> <p>¿Qué implica el cambio de color?</p> <p>¿Cuántos productos se obtienen?</p>
<p>A. [Niveles de logro inferiores]* El análisis realizado simplifica en exceso la situación problemática. Como <i>evidencia</i> para justificar que al poner en contacto dos sustancias se produce un cambio químico, tan solo se indica que la nueva sustancia identificada ("C") presenta propiedades diferentes a las de los reactivos. No se describe si la propiedad "clave" para apoyar el cambio químico es la solubilidad, el color o ambas (*). Tampoco se incorporan los <i>conflictos</i> surgidos en la resolución del problema, o aspectos que convendría investigar en un futuro.</p> <p>Además, el análisis es erróneo, ya que existen dos productos en la reacción química: $A + B \rightarrow C + D$.</p>	<p>B. [Niveles de logro superiores]* El análisis considera que la <i>evidencia</i> que justifica el cambio químico, de forma inequívoca, es la solubilidad (los reactivos se disuelven en agua, pero "C" es insoluble). Además, describe un <i>conflicto</i> surgido en la resolución: sin triturar, no se observa un cambio de color en la muestra.</p> <p>Por otra parte, el estudiante adopta una postura crítica y formula aspectos –conflictos– sobre los que le gustaría profundizar en un futuro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comparación del contacto entre "A" y "B" en estados sólido y en disolución acuosa • Relación del cambio de color con la ocurrencia de cambios físicos y químicos • Determinación experimental del número de productos de la reacción

* El análisis en que se basa el esquema se asigna a los niveles 1 o 2 en A, y 3 o 4 en B

Tabla 7.13. Esquemas para el análisis de resultados (DC5) de dos futuros profesores sobre «¿Qué puede ocurrir cuando dos sustancias se ponen en contacto?»



* El análisis en que se basa el esquema se asigna a los niveles 1 o 2 en A, y 3 o 4 en B

Tabla 7.14. Esquemas para el análisis de resultados (DC5) de dos futuros profesores sobre «¿Qué puede ocurrir cuando se calienta una sustancia?»

Para justificar los esquemas presentados en las páginas anteriores sobre el análisis de resultados (DC5), la Tabla 7.15 recoge varios fragmentos textuales de los informes de los estudiantes. Las «evidencias» y «conflictos» descritos se señalan expresamente; también se muestran las representaciones microscópicas aportadas por un participante.

Ejemplo de análisis de resultados –fragmento– relacionado con el esquema de la Tabla 7.13 (b) *

¿QUÉ PUEDE OCURRIR CUANDO DOS SUSTANCIAS SE PONEN EN CONTACTO?

[...] Se obtuvo un compuesto “C(s)” muy diferente a los compuestos de partida, pues éste era totalmente insoluble en agua, mientras que por separado ambas muestras sí lo eran.

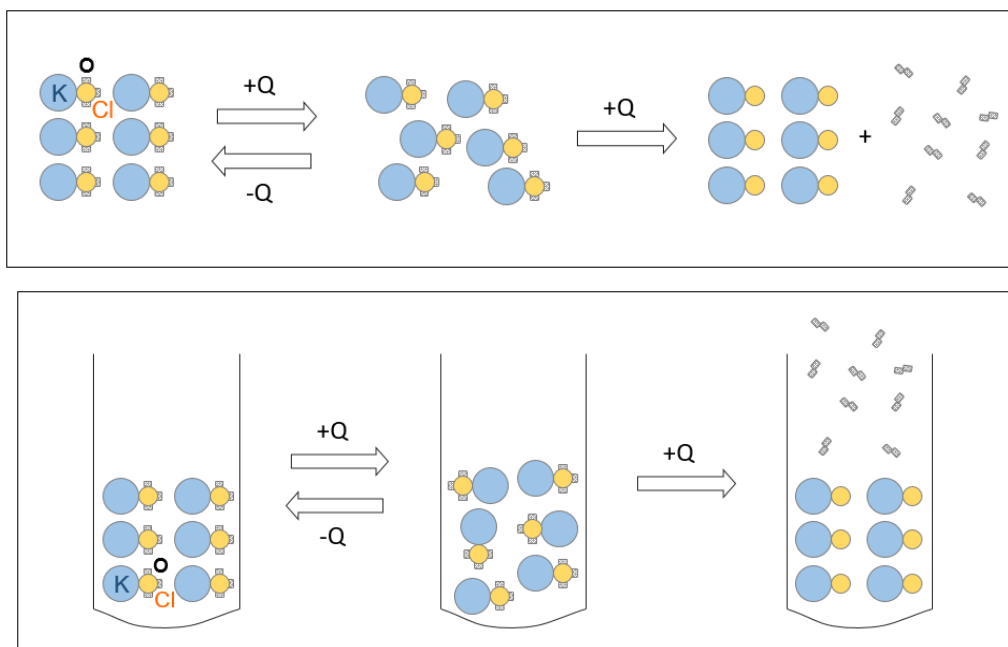
Mientras escribo estas líneas, *habría sido interesante ver que habría sucedido al juntar ambas sustancias disueltas en agua (tras confirmar que no reaccionaban con el H₂O). ¿Habríamos obtenido el mismo compuesto “C(s)” que era insoluble en agua? Seguramente.* [...]

Ejemplo de análisis de resultados –fragmento– relacionado con el esquema de la Tabla 7.14 (b) *

¿QUÉ PUEDE OCURRIR CUANDO SE CALIENTA UNA SUSTANCIA?

[...] El cambio de estado se ha corroborado por su reversibilidad: para una sustancia que ha pasado de estado sólido a líquido por calentamiento, si se deja enfriar, se produce la solidificación de dicha sustancia (“A” en este caso), pudiendo volver a pasar a estado líquido si se vuelve a calentar de nuevo.

En el caso del cambio químico, el hecho de que se estuvieran produciendo burbujas significaba que había desprendimiento de un gas, *que en un principio podía pensarse que era la sustancia “A” pasando a estado gaseoso.* Sin embargo, *al aparecer una sustancia sólida en el tubo de ensayo, se tenía que rechazar completamente esa hipótesis y afirmar que el cambio producido era una descomposición de “A” en estado líquido a una sustancia “B” sólida y una sustancia “C” gaseosa.* [...]



* Las «evidencias» aportadas se señalan en *verde*; los «conflictos» sugeridos se indican en *rojo*

Tabla 7.15. Análisis de resultados (DC5) de dos estudiantes, utilizados para los esquemas

Los esquemas presentados (Tablas 7.13 y 7.14) permiten inferir varios aspectos sobre el desempeño de los participantes en la dimensión competencial de *análisis de los resultados* (DC5). En particular, los futuros profesores que obtienen niveles de logro 3 o 4:

- Aportan evidencias más específicas para respaldar sus conclusiones. También describen algunos conflictos cognitivos a los que se han enfrentado en la resolución de los problemas, *p.ej.*, la necesidad de triturar para favorecer un contacto efectivo (al principio parecía que «no pasaba nada»), o la asociación entre calentamiento de un líquido y ebullición.
- Realizan un análisis más global de la situación problemática (*p.ej.*, en el problema sobre calentar justifican los dos cambios ocurridos, fusión y descomposición). Además, en caso de no haber podido corroborar algún contenido, lo señalan como aspecto a explorar en próximas investigaciones (*p.ej.*, las implicaciones de una modificación del color en relación a los cambios físicos y químicos).

Si se retoman los datos de la Figura 7.7 (pág. 278) y los presentados en los artículos 2 y 3 de la tesis, se constata que en el problema *inicial* un 64.7% de los estudiantes obtienen un nivel de logro entre 0 y 2 para la DC5, y solo un 35.3% consigue niveles 3 y 4. Sin embargo, en el problema *final* la situación se invierte: un 37.5% de los futuros profesores obtienen niveles entre 0 y 2, mientras que el dato para los niveles superiores asciende a un 62.5%. La evolución en los niveles medios alcanzados también resulta muy relevante: de $IL2 = 2.06$ se pasa a $IL2 = 2.83$.

Por ello, se deduce que el programa de Didáctica de la Química para trabajar los cambios físicos y químicos a través de la resolución de problemas –con la MRPI, como ejemplo de método indagativo– favorece el desarrollo de destrezas analíticas, en el sentido de interpretar los datos experimentales obtenidos y justificar aquello que requeriría de futuras investigaciones para comprobarse.

En general, los resultados expuestos en este apartado sugieren que la resolución de situaciones problemáticas escolares con la MRPI, un método totalmente ajustado a las dimensiones de la competencia científica,³⁸ resulta una estrategia formativa adecuada en la formación inicial del profesorado de física y química. Se favorece el desarrollo de las capacidades científicas de los futuros profesores y se promueve la reflexión sobre su propio aprendizaje, lo que a su vez debería facilitar el rol de estos participantes al implementar actividades de indagación en su futura práctica docente. Ahora bien, ¿cuál es la percepción de los futuros profesores respecto a la aplicabilidad de la MRPI en Educación Secundaria? ¿La consideran una metodología adecuada para abordar los requerimientos conceptuales, procedimentales, actitudinales y epistémicos? Para responder estas preguntas, se debe retomar el Objetivo 5 de la investigación.

³⁸ Se recuerda que las dimensiones de la competencia científica planteadas en el marco PISA 2015 (OCDE, 2013) son: *i)* explicar fenómenos de forma científica, *ii)* diseñar y evaluar una indagación científica, y *iii)* interpretar datos y evidencias de forma científica.

7.2.2. Objetivo 5: Percepción de los futuros profesores sobre el uso de la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación

Este objetivo, enunciado como «Identificar la visión asumida por los futuros profesores sobre la implementación de la MRPI en Educación Secundaria», implica retomar los tres últimos artículos de la tesis (6–8) y triangular sus resultados. Para ello, se opta por:

- A. Profundizar en el análisis sobre las *percepciones* –positivas y negativas– *comunes* en la muestra de futuros profesores, en relación con la aplicabilidad de la MRPI en Educación Secundaria.
- B. Relacionar los resultados sobre la *dependencia entre las creencias* –modelos didácticos– y la *visión sobre la MRPI*, con los aspectos específicos donde la percepción de unos y otros futuros profesores difiere.

A) Percepciones comunes sobre la aplicabilidad de la MRPI en Secundaria

En este caso, la meta es la de comparar los resultados obtenidos por el grupo-clase completo –curso 2015/16– a través del cuestionario de «Visión sobre la Aplicabilidad de la MRPI» (Anexo 4) con las evidencias obtenidas en las entrevistas con cuatro de los participantes.³⁹

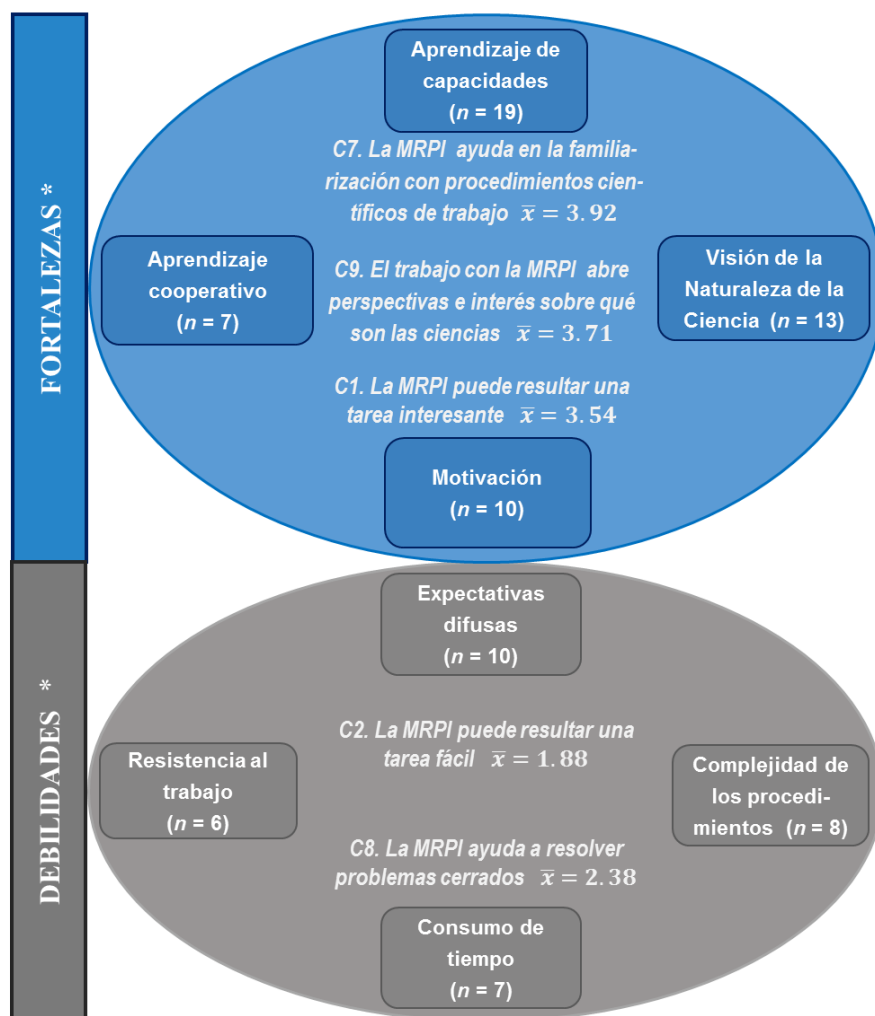
El Artículo 7 mostraba las puntuaciones otorgadas por los futuros profesores, en una escala de Likert 1–5, a un conjunto de 14 proposiciones sobre las dimensiones de «alumno», «currículo», «profesor» y «transposición» en relación con la MRPI. Estos datos se obtenían al término de la asignatura de Didáctica de la Química.

Ahora, para comparar estos resultados con las percepciones positivas y negativas indicadas en las entrevistas, se escogen aquellos ítems del cuestionario que cumplen:

- Fortalezas → Ítems con: *mediana* ≥ 4 ; *media* ≥ 3.50 ; *desv. típica* ≤ 1.00
- Debilidades → Ítems con: *mediana* ≤ 2 ; *media* ≤ 2.50 ; *desv. típica* ≤ 1.00

A su vez, en el Artículo 6 (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016c) las *fortalezas* y *debilidades* comunes surgen de la tabla de la pág. 216, donde se indican las frecuencias de reflexión. En concreto, se escogen las 4 percepciones positivas y las 4 negativas señaladas más a menudo y de manera similar por los cuatro estudiantes del Máster. De esta forma, la comparación entre los resultados de ambos trabajos da lugar a un esquema como el de la Figura 7.8.

³⁹ Para este trabajo cualitativo se seleccionaron dos futuros profesores para cada uno de los dos modelos didácticos “extremos”. Las asignaciones a estos modelos se realizaron a partir de los resultados en el cuestionario «Pensamiento Curricular y Profesional», al terminar las asignaturas.



Para cada ítem se indica su media $-1 = \text{desacuerdo}$, $5 = \text{acuerdo}$ (artículo 7), y para las reflexiones su frecuencia, n (artículo 6)

Figura 7.8. Percepciones sobre el uso de la MRPI en Secundaria por parte de los futuros profesores

En la figura se refleja una coherencia notable entre ambos análisis, cuantitativo y cualitativo. En relación con las *fortalezas* percibidas en consenso por los estudiantes del Máster sobre la aplicabilidad en Secundaria de la MRPI, se comprueba que:

- El aspecto más valorado de la MRPI es su ayuda para el desarrollo de *capacidades científicas* (c7), resultado que concuerda en ambos estudios. En concreto, la proposición del cuestionario sobre si la MRPI contribuye poco (1) o mucho (5) a la familiarización con destrezas científicas obtiene un valor medio de 3.92. De forma específica, en las entrevistas se describe que esta metodología promueve competencias como la «formulación de hipótesis propias», la «reelaboración de los problemas» o los «procesos de razonamiento» (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016c). En otros estudios con profesores en activo, se comprueba que la promoción de capacidades científicas también se identifica como una de las mayores potencialidades de la indagación (Gyllenpalm et al., 2010; Ireland et al., 2014). Sin embargo, resulta relevante que tanto

en el cuestionario como en las entrevistas, la MRPI no obtenga valores tan altos para el aprendizaje de conceptos. Este hecho podría sugerir que, en un futuro, los estudiantes del Máster estarían más dispuestos a hacer un uso de la indagación en relación a tareas sobre búsqueda de pruebas a través de la experimentación –*hands-on activities*–, más que a otro que también integrara una construcción genuina de conocimientos o el uso de modelos teóricos –*minds-on activities*– (Martínez-Chico et al., 2014; Windschitl et al., 2008).

- El segundo ítem englobado en el grupo de las *fortalezas* señala que la MRPI promueve el interés entre los escolares sobre *qué son las ciencias* (c9), un aspecto también defendido en las entrevistas. En éstas, se indica que la MRPI permitiría acercar la realidad de los científicos a los escolares: los procesos reflexivos propios de esta actividad, la creatividad («la Ciencia no son fórmulas y ejercicios»), la incertidumbre respecto a lo que se puede obtener, la resolución de «problemas reales», etc. Sin embargo, conviene matizar que estos resultados contradicen en parte la visión manifestada por los estudiantes en el cuestionario de «Pensamiento Curricular y Profesional», sobre la “supremacía” del conocimiento científico, aunque quizás la diferencia está en que aquí se posicionan como profesores –pudiendo asumir una cierta transposición didáctica–. En todo caso, en relación a la Naturaleza de la Ciencia los resultados de las entrevistas pueden considerarse como positivos, y animan a potenciar los procesos de metarreflexión y argumentación sobre la ciencia en la resolución de los problemas (McDonald, 2010; García-Carmona, 2012), para promover el cambio de creencias sobre una dimensión influyente en la práctica de aula (Chen et al., 2015; Kang & Wallace, 2005) pero a su vez bastante “estable” (Morrison et al., 2009; Benarroch et al., 2013).
- La tercera de las *fortalezas* coincidentes en ambos estudios corresponde al *interés* (c1) y a la *motivación* que puede despertar la indagación a nivel escolar. En las entrevistas se apuntan motivos diferentes sobre ello: por una parte, el cambio de una mecánica repetitiva en las clases, los aspectos «lúdicos» de los problemas, etc.; por otra, la iniciativa otorgada al alumnado, la posibilidad de seguir caminos diferentes de resolución o el hecho de tener que razonar en lugar de seguir procesos sistemáticos. Es cierto que de forma complementaria, los futuros profesores señalan la dificultad que podría conllevar el uso de la MRPI por parte de los escolares –pudiendo originar emociones negativas–, pero ligado al éxito en la resolución de los problemas, los participantes sugieren que debería tener una acogida general satisfactoria, en coherencia con lo manifestado por la comunidad investigadora (Abd-El-Khalick et al., 2004; Hmelo-Silver, 2004; Informe-PRIMAS, 2013; Rocard et al., 2007).
- En cuarto lugar, la Figura 7.8 recoge la *fortaleza* sobre la promoción de un *aprendizaje cooperativo*, un aspecto que surge en las entrevistas y que no se recogía en los ítems del cuestionario de «Visión sobre la Aplicabilidad de la MRPI». En este sentido, los futuros profesores mencionan la adecuación de la metodología para que los alumnos «se abran más», puedan manifestar sus dudas entre iguales y, en caso de bloquearse, cuenten con el respaldo de sus compañeros. Precisamente, la investigación en el área apunta a este tipo de aspectos para justificar la contribución del trabajo

cooperativo sobre situaciones problemáticas en los logros y la motivación de los estudiantes (English & Kitsantas, 2013; Zimmerman, 2013), aunque los procesos de interacción entre escolares en las fases de la indagación permanecen relativamente inexplorados.

A continuación, se comentan las *debilidades* percibidas en ambos estudios sobre la implementación en Educación Secundaria de la MRPI. La discusión se organiza a partir de los dos ítems del cuestionario mostrados en la Figura 7.8:

- La *debilidad* principal asumida sobre la MRPI tiene que ver con su *dificultad*: en la proposición c2 del cuestionario, en una escala donde 1 es muy difícil y 5 es muy fácil, se obtiene un valor medio de 1.88. A su vez, en las entrevistas esto se relaciona con la apertura de los problemas, que puede dar lugar a “*expectativas*” *difusas* (en el sentido de que no se sepa qué hacer). También se apunta la *complejidad de algunos procedimientos* implicados en la MRPI, como la identificación de variables o la emisión de hipótesis, y a raíz de estas reflexiones, se señala que el alumno podría mostrar *resistencia al trabajo*. Este tipo de resistencias hacia el uso de la indagación por parte del profesorado también son descritas en la literatura, donde se analizan creencias como el suponer que solo se adecúa al alumnado de altas capacidades (Colburn, 2000), pensar que requieren disponer de conocimientos lo suficientemente interrelacionados (Reid & Yang, 2002) y que por ello habría que «establecer de forma clara y precisa las condiciones» referentes a las situaciones problemáticas (Quintanilla et al., 2010). Además, este tipo de concepciones parecen acentuarse en el caso del Problem-Based Learning (PBL), identificada como una de las variantes de la indagación que más “resistencias” puede generar (Prince & Felder, 2007). Por ello, parece lógico el demandar más oportunidades para seguir profundizando en el aprendizaje sobre la MRPI, en otras asignaturas del Máster, en el Practicum⁴⁰ e incluso en el propio desarrollo profesional. Sin embargo, resulta oportuna una reflexión sobre el andamiaje ofrecido en la asignatura para resolver los problemas, intencionadamente menos guiado que el que se aportaría en Educación Secundaria. Para promover la reflexión de los futuros profesores (en términos de competencias, emociones, beneficios/desventajas de la indagación, etc.), es necesario que estas actividades supongan un «reto» para ellos (Pilitsis & Duncan, 2012), pero quizás, los participantes vinculan este grado “exigente” de andamiaje al mismo que deberían ofrecer en su práctica futura. Por ello, en próximos estudios convendría investigar la visión de los estudiantes sobre el rol de andamiaje del profesor al implementar la indagación, un aspecto que ha dado lugar a un gran debate en la investigación del área (Hmelo-Silver et al., 2007; Kirschner et al., 2006).

⁴⁰ La transferencia del aprendizaje sobre la MRPI al Practicum se aborda en el Objetivo 6 de la investigación.

- En segundo lugar, el grupo-clase señala como *debilidad* de la aplicación de la MRPI su falta de repercusión en la resolución de problemas cerrados (c8),⁴¹ los habituales en los libros de texto y en las pruebas externas como la Selectividad. Este resultado – y la idea mencionada sobre el aprendizaje conceptual– puede reflejar una distinción clara por parte de los futuros profesores entre aprendizaje de conceptos, problemas de aplicación, «prácticas de laboratorio» y todo aquello que no responda específicamente a una de estas categorías –como sería la MRPI– (Gil-Pérez et al., 1999; Martínez-Torregrosa et al., 2012). Ello podría explicar a su vez que los estudiantes opinen en las entrevistas que la MRPI consumiría mucho tiempo de clase (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016c): desde su punto de vista, sería muy costoso poder compatibilizar actividades de naturaleza más innovadora con otras que “se supone” que deben trabajarse en las aulas (Porlán et al., 2010). En todo caso, la creencia sobre el consumo de tiempo de los métodos indagativos parece estar bastante extendida entre los profesores (Abril et al., 2014; Gyllenpalm et al., 2010).

En definitiva, el análisis acerca de las percepciones consensuadas sobre la aplicabilidad de la MRPI, al término de la asignatura de Didáctica de la Química, permite extraer información relevante sobre la eficacia de la propuesta en términos de predisponer a los estudiantes a usar la indagación a su futura práctica. Como ya se comentó en los Artículos 6 y 7 de la tesis, predominan las opiniones positivas sobre la misma, tanto en las entrevistas (las fortalezas constituyen un 60.2% de las reflexiones) como en el cuestionario (7 de las 14 cuestiones obtienen puntuaciones medias superiores a 3.50). Sin embargo, en este último caso no se llegaron a alcanzar puntuaciones superiores a 4.00, lo que sugiere la necesidad de continuar la formación en torno a la indagación, tanto en el Máster como en el periodo de inducción a la docencia.

Entre los aspectos donde convendría promover una reflexión más específica de los participantes en futuras ediciones de la asignatura, o en otras etapas formativas, estarían:

- La potencialidad de la MRPI para promover la construcción de conocimientos o el uso de modelos teóricos –*minds-on activities*– (Viennot, 2011).
- La adaptabilidad del andamiaje al contexto de los estudiantes (Furtak et al., 2012).
- La contribución de un holístico como las fases de la MRPI a los conceptos, procedimientos y actitudes especificados en el currículo, y requeridos en actividades de naturaleza más cerrada (Varela & Martínez-Aznar, 1997a; Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005; Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005; Bárcena, 2015).
- La metarreflexión sobre las características de la ciencia, para lo cual, convendría resolver problemas indagativos de diferente naturaleza y abordar otras actividades complementarias (Escrivà & Rivero, 2017).

⁴¹ Un aspecto rebatido en otros trabajos del grupo de investigación sobre el uso de la MRPI por parte de estudiantes de Secundaria.

B) Influencia de las creencias profesionales en la visión sobre la MRPI

El objetivo aquí es el de comparar las evidencias del Artículo 8, acerca de los aspectos que afectan a la visión asumida sobre la utilidad de la MRPI, con los resultados de las entrevistas a cuatro de los estudiantes (Artículo 6).

En el primero de estos artículos, a partir de las respuestas⁴² del grupo-clase 2015/16 al cuestionario de «Visión sobre la Aplicabilidad de la MRPI» (Anexo 4) y de la utilización de otros instrumentos de la tesis –cuestionario de «Pensamiento Curricular y Profesional» y niveles de logro en la resolución de los problemas–, se comprueba que:

- La visión sobre la aplicabilidad de la MRPI en Educación Secundaria está condicionada, en términos de significatividad estadística, por las creencias profesionales de los futuros profesores. Esta visión es más favorable para aquellos estudiantes próximos al modelo constructivista ($U = 31.000^*$, $*p < 0.05$).⁴³
- La percepción de la utilidad de la MRPI no presenta un condicionamiento significativo por los resultados más o menos positivos obtenidos en la resolución de los problemas abiertos.
- El pensamiento sobre la aplicabilidad de la MRPI en Secundaria no se muestra afectado, en términos de significatividad estadística, por las distintas titulaciones iniciales de los estudiantes del Máster.

Una vez confirmada la influencia de las creencias docentes sobre la visión de los estudiantes acerca del uso de la indagación en Secundaria, algo también apuntado por otros autores (Roehrig & Luft, 2004; Wheeler et al., 2015), se profundiza en este aspecto a partir del análisis de las entrevistas (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016c).

En este último artículo, la revisión de la tabla de la pág. 214 (con las frecuencias de reflexión) permite obtener varios aspectos donde la percepción sobre la MRPI de los estudiantes asignados al modelo tradicional *difiere* en gran medida de la de aquellos vinculados al constructivismo. Estos aspectos corresponden a la visión sobre:

- El aprendizaje de contenidos conceptuales y su persistencia
- La promoción de la autonomía y el interés hacia la Ciencia, como *fortalezas* de la MRPI / La falta de repercusión de la MRPI en las actividades numéricas, como *debilidad* del método
- La adecuación de la metodología al profesor y a los estudiantes

⁴² Se consideran las puntuaciones globales para el conjunto del cuestionario. En cada ítem, 1 = desacuerdo total, 5 = acuerdo total.

⁴³ Para obtener el resultado, la muestra del curso 2015/16 se subdivide en dos ($n_1 = n_2 = 12$) según la puntuación otorgada al modelo constructivista al final de la asignatura –cuestionario de «Pensamiento Curricular y Profesional»–. Estas submuestras se comparan con el Test de la U de Mann-Whitney.

Los aspectos anteriores se caracterizan en la Tabla 7.16, mostrándose ejemplos concretos sobre las reflexiones realizadas por los futuros profesores asignados a ambos modelos didácticos.

	MODELO TRADICIONAL Gustavo y César *	MODELO CONSTRUCTIVISTA Alba y Diego *
1. MRPI y contenidos conceptuales	<p>La MRPI resulta insuficiente para abordar los contenidos conceptuales o teóricos.</p> <p>«He hecho un par de MRPI [...] y pienso que los contenidos teóricos se aprenden mejor si son transmitidos [...] y luego revisados por el estudiante y estudiados». (221)</p> <p>«Para el aprendizaje efectivo de conceptos o de qué características tiene cada situación o proceso [la MRPI] no me parece demasiado útil. [...] Necesita demasiada explicación alrededor». (221)</p> <p>«Al final se dejan muchos flecos sueltos». (221)</p>	<p>La MRPI promueve el aprendizaje conceptual. Éste debe estar ligado a la práctica (resolución de problemas) y es importante que persista en el tiempo.</p> <p>«La MRPI también engloba los conocimientos [...] no se les pide que “escupan” los conocimientos, sino que a partir de ellos... resolver un problema». (221)</p> <p>«[...] conceptos como muy básicos que se supone que los tienes claros... nunca me los había planteado de esa manera [como con la MRPI], es como encajar piezas de manera diferente». (221)</p> <p>«Muchas veces aprendes las cosas de memoria... pero luego dentro de 2 meses ya no te acuerdas de nada». (221)</p>
2. Fortalezas / Debilidades sin consenso entre los participantes	<p>La MRPI <u>no favorece</u> la resolución de ejercicios (actividades cerradas con datos numéricos).</p> <p>«La profesora dice que un alumno que ha aprendido de esta manera luego es capaz de resolver lo que ella llama «ejercicios», los que se hacen con calculadora. Yo pienso que habría que verlo». (221)</p> <p>«Los ejercicios numéricos sí que se dejan un poco de lado. Me parece que esos tienen que ser como toda la vida: transmitidos por el profesor, que luego ellos miren las fórmulas y los resuelvan en su casa». (221)</p>	<p>La MRPI <u>favorece</u> la autonomía y autorreflexión de los estudiantes –destrezas metacognitivas– y promueve el interés hacia la ciencia –argumento actitudinal–.</p> <p>«Con esas edades se tienen muchas ganas de probar todo y de ver qué ocurre y qué no ocurre. Tener esa libertad les puede generar interés». (222)</p> <p>«[Con la MRPI] los alumnos tienen que pensar, tienen que razonar, no es algo sistemático ni de memorizar». (222)</p> <p>«[La MRPI] es una manera de que ellos vean que la Ciencia no son fórmulas... que es un poco la idea que se tiene en el instituto. Claro, eso visto así es muy aburrido». (217)</p>
3. Adecuación de la MRPI al profesor y a los estudiantes	<p>La MRPI dificulta el trabajo docente y puede no ser provechosa para el alumnado “con dificultades”.</p> <p>«Con la MRPI me parece que nunca puedes controlar del todo qué es lo que se va a aprender». (223)</p> <p>«Tampoco creo que sea productivo un guion tan abierto como para que uno no llegue a conclusiones. Y aquí se invierte tiempo y esfuerzo...». (223)</p> <p>«Con los malos estudiantes, es posible que muchos ante una dificultad añadida [...] “pasen”, se frustren y no consigan avanzar». (223)</p>	<p>La MRPI facilita la consecución de los objetivos del profesor, promoviendo el rendimiento general del alumnado.</p> <p>«La componente de reflexión no la tienes con las prácticas convencionales. Con la MRPI creo que el rendimiento será mayor porque lo puedes comprender mejor [...] que siguiendo una “receta”». (223)</p> <p>«[La MRPI] abarca una gran cantidad de parámetros que nos servirían para evaluar [...] engloba muchísimos indicadores». (223)</p> <p>«Cuando los alumnos se centren en cómo se debe hacer, sí que cumplirán los objetivos, y además los cumplirá la mayoría». (223)</p>

* Las categorías se ejemplifican con reflexiones de los futuros profesores. Se indica la página de la tesis donde aparece cada reflexión

Tabla 7.16. Categorías de reflexión que muestran una visión diferente sobre la MRPI según el modelo didáctico de los estudiantes

La primera categoría de la Tabla 7.16, sobre el grado de contribución de la MRPI al *aprendizaje de contenidos conceptuales*, demostró ser el aspecto donde la reflexión de ambos grupos de futuros profesores difería más entre sí (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016c). A tenor del análisis previo del capítulo (ver Tabla 7.6 en la pág. 271), el modelo didáctico global asumido por los participantes permite justificar este resultado. Los estudiantes vinculados al modelo tradicional hacen alusión al «control» sobre el aprendizaje de los alumnos para que resulte efectivo, a la transmisión de contenidos por parte del profesor, a las explicaciones, etc., lo que puede explicar su reacción a dotar de un papel más activo a los escolares. En cambio, los participantes próximos al modelo constructivista hacen hincapié en una enseñanza encaminada a favorecer la resolución de problemas, siguiéndose procesos que permitan replantear y reconstruir los significados sobre los conceptos –que deben ir ligados a situaciones problemáticas–. Por ello, resulta lógico que este último grupo de estudiantes se muestre mucho más partidario del uso de la MRPI en su futura práctica en Secundaria, un rasgo que también comparten los compañeros del grupo-clase cercanos al modelo didáctico constructivista (Artículo 8).

Además, en relación con lo anterior, la Tabla 7.16 refleja la importancia otorgada a la *persistencia del aprendizaje* por los futuros profesores asignados al constructivismo, y a las ventajas que podría suponer el uso de la MRPI para lograrla (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005). Esta última pareja de estudiantes –al igual que la otra asociada al modelo tradicional– muestra un alto grado de coherencia en sus reflexiones, que indican expresamente algunas de las ideas que dan origen al modelo didáctico constructivista: la necesidad de construir significados nuevos que sean verosímiles («encajar piezas»), la importancia de la utilidad de los nuevos conocimientos («no es cuestión de escupir conocimientos, sino de resolver problemas a partir de ellos»), etc. Es decir, se justifican aspectos ligados a la teoría del cambio conceptual por acomodación (Posner et al., 1982; Vosniadou, 1994)

Finalmente, las dos últimas filas de la tabla recogen otros aspectos donde, en función del modelo didáctico, se detectan visiones diferentes sobre la utilidad del uso de la MRPI en Educación Secundaria:

- Los estudiantes vinculados al constructivismo defienden en mucha mayor medida la contribución de la MRPI al desarrollo de destrezas metacognitivas, autonomía e interés hacia la ciencia en los escolares, hecho que puede explicarse atendiendo a los objetivos generales que contemplan para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias (ver Artículo 6 y Tabla 7.6 –pág. 271–).
- Los participantes asignados al modelo tradicional perciben una falta de repercusión de la MRPI en la resolución de ejercicios numéricos (opinan que «se dejan de lado»). En cambio, los futuros profesores vinculados al modelo constructivista no realizan este tipo de reflexiones en las entrevistas (ver Artículo 6).
- Los estudiantes próximos al modelo constructivista señalan ventajas en el uso de la MRPI en Secundaria, tanto para el profesorado –que puede evaluar múltiples indicadores de la competencia científica– como para el alumnado –que conseguirá

mayores logros al verse favorecida su comprensión-. Por el contrario, los participantes asignados al modelo tradicional indican, que además de suponer una importante inversión de tiempo y esfuerzo para el profesor, la MRPI no garantizaría unos resultados en el alumnado («puede que no se llegue a conclusiones»), especialmente en aquéllos que presenten más dificultades.

La primera de estas diferencias entre los futuros profesores vuelve a sugerir que la visión profesional de aquellos vinculados al modelo constructivista dista mucho de la de explicar contenidos verbalmente para que sean revisados por los escolares. Desde su punto de vista, la promoción de destrezas metacognitivas en los escolares (Campanario, Cuerva, Moya & Otero, 1998) cobra una importancia mucho mayor, pues éstas favorecen los procesos de resolución de problemas y la formulación de preguntas, y con ello permiten aumentar el interés hacia las ciencias. En cambio, los estudiantes del Máster asignados al modelo didáctico tradicional manifiestan dudas respecto a estos enfoques competenciales (Pro, 2011), por considerarlos *contradictorios* con un trabajo separado sobre los conceptos, los ejercicios de aplicación numérica y los procedimientos de laboratorio al que están acostumbrados (Gil-Pérez et al., 1999).

Finalmente, estos grupos de futuros profesores presentan visiones contrapuestas respecto a la utilidad de la MRPI para su futuro rol docente. Los participantes próximos al modelo tradicional perciben que la dificultad que suponen las fases de la metodología complica la extracción de conclusiones por parte de los alumnos. Como a eso se le une una gran inversión de tiempo y esfuerzo del profesor, estos estudiantes parecen inclinarse por un uso ocasional de las situaciones problemáticas abiertas. En cambio, los participantes vinculados al constructivismo, a pesar de concebir ciertas dificultades iniciales en el uso de la indagación (ver Artículo 6 –págs. 217-218–), asumen que con el tiempo estos métodos dan lugar a un mayor rendimiento del alumnado porque se promueve su «comprensión». Además, perciben que la MRPI facilitaría su labor docente, al proporcionar múltiples indicadores para evaluar los procesos de enseñanza-aprendizaje.

En definitiva, los resultados presentados sugieren motivos para justificar la diferencia estadísticamente significativa entre la acogida de la MRPI por parte de los futuros profesores vinculados al modelo didáctico tradicional y la de aquellos próximos al modelo constructivista (Artículo 7). Además, las reflexiones realizadas por los participantes –las diferencias según los modelos didácticos– señalan aspectos a tener en cuenta en los procesos formativos. En concreto, convendría promover una reflexión explícita sobre:

- Los beneficios de la metacognición de cara al aprendizaje de las ciencias (Campanario, 2000; Schraw et al., 2006).
- La contribución de diferentes tipos de actividades al aprendizaje de las dimensiones de la competencia científica –conocimientos, capacidades y actitudes– (Cortés et al., 2016; Ibáñez & Martínez-Aznar, 2007; Martínez-Aznar & Bárcena, 2013; Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005).

- Los causas del éxito o fracaso del alumnado y de su actitud. ¿Solo se deben a sus características personales? ¿Están influidas por las decisiones metodológicas del profesorado? (Rocard et al., 2007)

7.2.3. Objetivo 6: Transferencia de la MRPI a la Educación Secundaria durante el Practicum

Este último objetivo planteado corresponde a «Ejemplificar la transferencia de la MRPI a Educación Secundaria durante las prácticas docentes». Para abordarlo, se recurre al Artículo 4 de la tesis (Rodríguez-Arteche et al., 2016), que refleja el trabajo como *profesor en prácticas* del autor de esta memoria, con la ayuda de una compañera del Máster (coautora del artículo) y la supervisión como *tutora académica* de la directora de la tesis.

Como ya se ha señalado en otras partes de la memoria y en sus artículos, la etapa del «Practicum» en un centro escolar constituye una parte fundamental del Máster en Formación del Profesorado de Educación Secundaria. En ella, para reforzar los conocimientos construidos durante las asignaturas y poner en práctica algunas de las estrategias metodológicas presentadas –sobre las que aún puede haber “escepticismo”–, es necesaria una perfecta coordinación entre los tutores universitarios y los mentores en los centros de Secundaria (Solbes & Gavidia, 2013).

Fernández-González y Marrero (2013) defienden que, de forma global, el Practicum se mantiene como un proceso de resolución de problemas profesionales, solo que ahora, en momentos no necesariamente predecibles surgen los denominados «incidentes críticos» (Monereo & Monte, 2011), a los que el profesor en prácticas debe comenzar a adaptarse. Estos *incidentes críticos* (positivos o negativos) corresponden a sucesos o eventos que conforman hitos destacados en el contexto del aula, y pueden dar lugar a modificaciones sustanciales en las creencias profesionales (Monereo & Pozo, 2011). Es por ello que, a partir de procesos de *investigación-acción* sobre la propia práctica –con la colaboración de tutores y mentores– (Vázquez-Bernal & Jiménez-Pérez, 2013), el Practicum constituye una oportunidad estupenda para que los estudiantes del Máster sigan trabajando el problema profesional sobre las actividades indagativas en la Educación Secundaria. Así, es posible que la reflexión sobre los *resultados y acogida de los escolares* a propuestas de aprendizaje basadas en la indagación, permita superar algunos de los «obstáculos» descritos en el apartado anterior (Objetivo 5) acerca del uso de estos métodos en Secundaria.

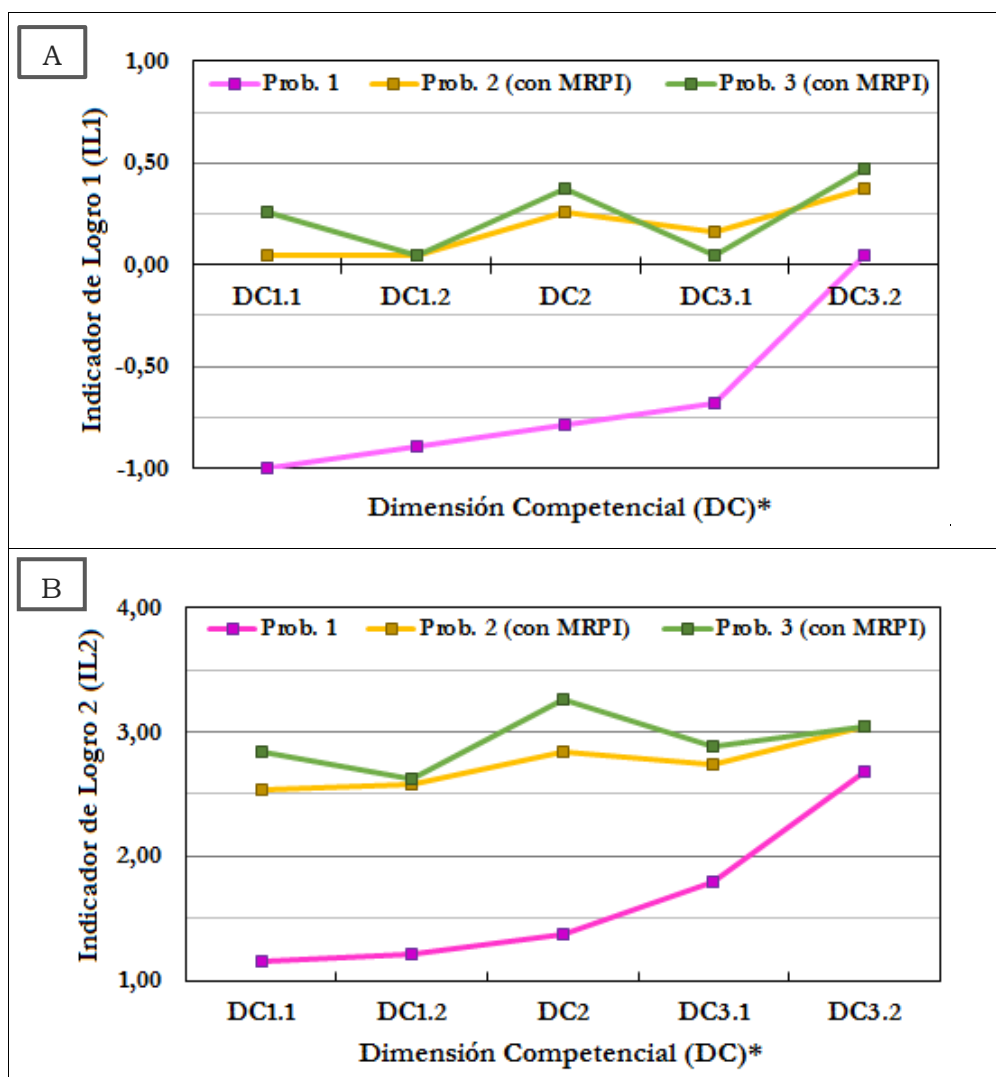
En este sentido, cabe recordar que los logros de los escolares constituyen un elemento clave que repercute en CDC personal y afecta a la construcción del conocimiento profesional por parte del profesor (Gess-Newsome, 2015; Kind, 2015). Por ello, según el *Modelo de Consenso* del CDC –ver Figura 7.2, pág. 250–, la percepción del grado de éxito de las estrategias implementadas como profesores en prácticas, resulta imprescindible para poder acomodar las ideas presentadas en las asignaturas a la práctica de aula personal (Loughran et al., 2008).

Las metas de esta sección van en esta línea. De forma análoga a lo realizado para los futuros profesores, se presentan los resultados de los escolares de 4º de ESO –que cursan «Ampliación de Física y Química»– en una secuencia de tres situaciones problemáticas con enfoque CTSA que buscan promover la mejora en la competencia científica vinculada a la *planificación de investigaciones* (Rodríguez-Arteche et al., 2016). La resolución para el primero de los problemas (“¿Qué papel absorbe más?”) se planificó sin ningún método específico, mientras que en los dos siguientes (“¿Qué detergente lava mejor?” y “¿Qué tejido abriga más?”) se utilizó la MRPI. Además, entre estas etapas se realizaron procesos de revisión y puesta en común de los aprendizajes (Taconis et al., 2001).

De este modo, considerando cuatro niveles de resolución para las dimensiones competenciales (DC), desde 1 –irrelevante– hasta 4 –muy satisfactorio–, y los mismos indicadores de logro descritos para el Objetivo 4 de la tesis,⁴⁴ se obtienen los resultados mostrados en la Figura 7.9, comprobándose que:

- Una vez utilizada la MRPI en los problemas 2 y 3, en todas las dimensiones competenciales predominan los estudiantes en los niveles de resolución superiores (IL1 es positivo para todas las DC, ver Figura 7.9). Ello supone un aprendizaje satisfactorio de la metodología, si bien existen capacidades como la reformulación de los problemas (DC1.2) o la identificación y control de variables (DC3.1) que resultan más costosas para el alumnado de Secundaria.
- La introducción de la MRPI conlleva una mejoría muy relevante en la competencia científica de los escolares en relación a sus destrezas iniciales. En el problema 1 (resuelto sin la MRPI), los estudiantes obviaban etapas como la representación cualitativa o la emisión de hipótesis en sus resoluciones, y presentaban serias dificultades para identificar y controlar las variables (ver pág. 168, correspondiente al Artículo 4). Una vez presentada la metodología, además de progresar de forma acusada en estas dimensiones de la competencia científica, los estudiantes mejoran notablemente su desempeño en relación a los diseños experimentales para resolver los problemas (DC3.2) –a pesar de que al comienzo invertían todo su tiempo en ello–.
- Los estudiantes son capaces de transferir su aprendizaje sobre la MRPI a situaciones problemáticas que abordan contenidos científicos diferentes. En este proceso, el andamiaje ofrecido por los profesores y la propia plantilla proporcionada con las “tareas” incluidas en cada fase del MRPI (Anexo 2), suponen una ayuda inestimable.

⁴⁴ *Indicador de Logro 1:* [estudiantes en Niveles 3-4] – [estudiantes en Niveles 1-2] / [total de estudiantes]. *Indicador de Logro 2:* Nivel de resolución medio.



* DC1.1: representación cualitativa (marco teórico); DC1.2: reformulación; DC2: emisión de hipótesis; DC3.1: identificación y control de variables; DC3.2: toma de decisiones

Figura 7.9. Indicadores de logro 1 (A) y 2 (B) para las DC, en los tres problemas abiertos de la secuencia –el primero sin la MRPI–

Los resultados mostrados en la figura guardan un cierto parecido con los obtenidos por los futuros profesores en la asignatura de Didáctica de la Química. Una vez introducida la MRPI, *en ambos casos* se obtienen resultados positivos de IL1 para las distintas dimensiones competenciales –o fases de la MRPI–. Además, esta metodología se muestra influyente en la mejora de las representaciones cualitativas asociadas a las situaciones problemáticas (DC1.1) y favorece, entre otros aspectos, una emisión de hipótesis (DC2) que orienta la resolución de los problemas.

Cabe decir que en este trabajo durante el Practicum del autor de la tesis, los escolares no cubrieron el cuestionario sobre su percepción de la MRPI. No obstante, en este punto conviene recuperar la comparación entre la visión sobre la MRPI por parte de los futuros profesores del Máster y los estudiantes de Educación Secundaria que han trabajado de forma habitual con la misma (Artículo 7). En este sentido, los escolares presentan una

visión más positiva hacia esta metodología –en términos de significatividad estadística– en relación a:

- Su grado de *dificultad* (lo consideran “moderado” en lugar de muy difícil);
- Su ayuda para la comprensión efectiva de *conceptos*;
- Su contribución para resolver otras actividades, de tipo *cerrado*, que se les plantean en clase; y
- La *adecuación* general de la metodología.

Para concluir, cabe decir que el desarrollo del CDC requiere de la *práctica* en una situación real de enseñanza-aprendizaje, donde el profesorado pueda aplicar su aprendizaje previo en distintas asignaturas o talleres de desarrollo profesional, y siga construyendo su conocimiento a través de la reflexión *en la acción y sobre la acción* (Munby, 1989; Schön, 1983). De forma más específica, el Practicum del MFPS conforma un contexto excelente para poner en práctica lo aprendido acerca de labor de «andamiaje» en las actividades de tipo indagativo, a través de la observación previa de los formadores de didáctica (Rodríguez-Arteche & Martínez-Aznar, 2016a) o del diseño de sus propias estrategias para orientar al alumnado (Crujeiras, 2017).

Además, si el profesorado es consciente de los logros de aprendizaje (como los mostrados en la Figura 7.9) y de la percepción positiva del alumnado sobre este tipo de metodologías indagativas, es muy probable que pueda vencer las resistencias y el “escepticismo” hacia estas estrategias presentadas en la formación inicial. Así, dejará de vincular la indagación con una resistencia del alumnado al trabajo (Lawson, 2000; Marshall & Smart, 2013; Prince & Felder, 2006), o con metodologías solo válidas para alumnos de altas capacidades (Colburn, 2000; Quintanilla et al., 2010), lo que repercutirá, sin ninguna duda, en su CDC personal.

En el caso del autor de la tesis, el poder contrastar la eficacia de la MRPI durante el Practicum y vivir la experiencia de un ambiente de aula sumamente participativo y agradable, ha supuesto un punto de inflexión en su pensamiento docente y repercutido de forma relevante en su desarrollo profesional (promoviendo la construcción de CDC y mejorando su percepción de autoeficacia). Todo ello ha conllevado su incorporación a los estudios de doctorado donde se encuadra esta memoria. Por tanto, resulta oportuno terminar el capítulo demandando –una vez más– una total implicación y coordinación entre los mentores y tutores académicos del Practicum, pues esta etapa supone una oportunidad magnífica para reforzar los aprendizajes en los módulos genérico y específico del Máster y, de esta forma, contribuir a la tan ansiada mejora de la enseñanza.

Capítulo 8

Conclusiones Finales

8. CONCLUSIONES FINALES

En una tesis por compendio de publicaciones las conclusiones se contemplan de dos formas: las reflexiones parciales descritas en los artículos independientes, por una parte, y las procedentes de los resultados globales y originales expuestos en el capítulo de discusión general, por otra. En este capítulo, se van a extraer a partir de las reflexiones del capítulo 7 de Discusión Global, siguiendo el mismo planteamiento a partir de los objetivos.

8.1. Conclusiones en relación con la primera pregunta de investigación

La pregunta se refiere a la eficacia de la propuesta formativa, y se enuncia como:

«¿Cuál es el efecto de una propuesta formativa para las asignaturas de didácticas específicas en un grupo de futuros profesores de física y química?»

Los tres primeros objetivos de la investigación permiten concretar respuestas a esta cuestión.

OBJETIVO 1: Justificar los componentes del programa formativo de didácticas específicas orientado a favorecer la construcción de Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC).

La propuesta para las asignaturas de didáctica resulta coherente con los elementos consensuados en la comunidad científica para favorecer la construcción del Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC) en la formación inicial del profesorado pues:

1. Se articula a través de la resolución de *problemas profesionales* acordes a los componentes del CDC –orientaciones hacia la enseñanza, conocimiento de los currículos, comprensión de la ciencia de los alumnos, estrategias/actividades de enseñanza y evaluación–, con un planteamiento investigativo isomorfo a los propugnados para el aprendizaje de las ciencias en Educación Secundaria.
2. Se sigue un enfoque *reflexivo* con una doble perspectiva: a través de las ejemplificaciones de Unidades Didácticas (UD) los participantes asumen el rol de estudiantes de Secundaria, y por medio de la elaboración de UD propias, adoptan el papel de futuros profesores.
3. Se supera –de forma parcial– la falta de experiencia docente de los participantes por medio de la *observación* del rol de los formadores de didáctica al implementar actividades escolares innovadoras.

En síntesis, el programa de las asignaturas resulta coherente con el modelo de desarrollo dinámico del CDC (Modelo de Consenso). Por una parte, contribuye a la construcción de CDC canónico sobre una serie de temáticas, y por otra, favorece la adquisición de competencias necesarias para la profesión.

OBJETIVO 2: Comprobar la eficacia de la propuesta formativa en términos de evolución en las creencias profesionales de los futuros docentes.

Una de las metas fundamentales de las asignaturas de Didáctica de la Química y de la Física es la de favorecer la construcción de *modelos didácticos* constructivistas o alternativos. Por ello, el análisis del cambio en las creencias de los estudiantes, hacia posiciones coherentes con estos modelos, se considera un instrumento de evaluación de la validez del programa.

En relación a la *eficacia global* del programa:

4. Se promueve una evolución estadísticamente significativa en todas las dimensiones analizadas del pensamiento docente, desde el inicio hasta el final del curso. El cambio hacia tendencias constructivistas es mayor en las dimensiones de «evaluación» y, sobre todo, de «metodología», y menor en las de «contenidos» y «percepción profesional».
5. Se produce la evolución estadísticamente significativa de 19 de las 30 concepciones analizadas. La magnitud del cambio en las creencias –tamaño del efecto– se considera “grande” en 3 de las proposiciones (10%), y “mediana” en 8 (27%).

Respecto a las creencias particulares donde la propuesta conlleva un *mayor impacto*:

6. La mayor parte de los cambios acusados corresponden al desarrollo de la enseñanza (metodología), percibiéndose una crítica final de los protocolos cerrados de laboratorio, la explicación verbal de los contenidos como garante del aprendizaje o el uso de materiales –libros de texto, apuntes, etc.– muy pautados.
7. La mayor evolución se relaciona con respaldar el trabajo en clase a partir de las ideas previas del alumnado.

Los «*obstáculos*» detectados –creencias asociadas al modelo didáctico tradicional que perduran al final de las asignaturas– corresponden a:

8. Considerar el conocimiento científico como forma de pensamiento “verdadera” a la que habría que aproximar los contenidos escolares de física y química.
9. Asumir el trabajo experimental como aplicación o síntesis de lo trabajado en clases previas.
10. Identificar el uso de los exámenes como un elemento necesario para motivar el estudio.

11. Defender la necesidad de ser graduado en física o química para impartir estas materias.

En relación a la modelización de las creencias –agrupación de las proposiciones– por parte de los estudiantes del Máster:

12. Las concepciones se clasifican en dos grupos, las *adecuadas* e *inadecuadas* bajo su punto de vista, con una distinción más nítida al final de las asignaturas. Las primeras ideas representan el “modelo defendido” por los participantes.
13. Al comienzo, el “modelo defendido” incluye la mayoría de las ideas próximas a un modelo constructivista, pero también, 7 de las 19 concepciones vinculadas a un modelo didáctico tradicional. Estas últimas se relacionan con los «contenidos» –supremacía del conocimiento científico– y la «metodología» –transmisión verbal del conocimiento; trabajo experimental como aplicación y mediante protocolos cerrados–.
14. Al final, el “modelo defendido” engloba todas las creencias correspondientes a un modelo constructivista, junto con 4 ideas asociadas a un modelo didáctico tradicional. Estas últimas parecen formar una *amalgama* relacionada con asumir un único conocimiento “verdadero” –el científico– al que deben tender las ideas de los alumnos.

Respecto a la evolución de las creencias profesionales en promociones diferentes de estudiantes del Máster:

15. La *acogida general* de las ideas sobre la enseñanza y el aprendizaje respaldadas desde la propuesta se muestra dependiente de la promoción concreta de estudiantes, es decir, del contexto de aula generado por el grupo de trabajo.
16. La dependencia de esta evolución con la promoción de estudiantes es más acusada para las creencias arraigadas en la comunidad escolar y vinculadas al modelo *tradicional*, y entre ellas, el identificar las ideas previas con «errores a eliminar por el profesor», defender un uso como «aplicación» del trabajo experimental o considerar que las actividades innovadoras consumen demasiado tiempo.

En relación al comportamiento general del cambio en las creencias:

17. El cambio en el pensamiento docente refleja un carácter *gradual* y *evolutivo*, ligado a las creencias de partida. A raíz de la propuesta formativa, se produce una transición hacia una visión más cercana al modelo constructivista, pero se mantiene una cierta coexistencia de ideas vinculadas a modelos didácticos diferentes.

En síntesis, los resultados de la investigación apoyan la validez de la propuesta formativa como promotora de un cambio en las creencias de los futuros profesores hacia visiones de tipo constructivista. Esta evolución resulta especialmente relevante en la di-

mensión de «metodología», donde se perciben transiciones desde la defensa hacia la crítica sobre aspectos como la explicación verbal de los contenidos y el uso de materiales – libros de texto, apuntes, guiones de laboratorio, etc.– muy pautados. Asimismo, los resultados permiten constatar algunas dificultades –obstáculos– en el proceso de cambio de las creencias. La reflexión sobre estos últimos aspectos sustentará las posibles mejoras a introducir en el programa formativo.

OBJETIVO 3: Caracterizar la visión final de los futuros profesores sobre el problema profesional: «¿Cómo se pueden diseñar actividades de enseñanza-aprendizaje para una Unidad Didáctica?»

Las entrevistas realizadas al final de las asignaturas permiten caracterizar el pensamiento de los futuros profesores, según su modelo didáctico, sobre el uso y diseño de actividades escolares de física y química.

En relación a las *finalidades* principales de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, y a las *actividades* apropiadas para lograrlas:

18. Los estudiantes vinculados al modelo tradicional sostienen que se debe transmitir una visión de la ciencia próxima al conocimiento experto, y que el papel del alumno debe ser revisar y estudiar las explicaciones sobre conceptos y leyes. Se enfatiza la importancia de las actividades numéricas, debido a su inclusión en cursos superiores.

19. Los estudiantes próximos al modelo constructivista defienden que la enseñanza debe favorecer la construcción de competencias (conocimientos, capacidades y actitudes), y que el papel de los alumnos debe consistir en resolver problemas y aplicar sus conocimientos a situaciones relevantes. Se aboga por utilizar actividades con una cierta apertura, donde se favorezca la reflexión del alumnado y se eviten, en la medida de lo posible, los procedimientos sistemáticos y la memorización.

Respecto al papel de la *indagación* en el diseño y selección de actividades, y a las *emociones* ligadas a estas metodologías:

20. Los futuros profesores asociados al modelo tradicional no contemplan usar metodologías indagativas para abordar el currículo, pero apoyan el trabajo ocasional sobre problemas abiertos para completar el Bloque sobre la «actividad científica» (indagación como fin). Señalan que estas últimas actividades deberían tener una buena acogida, como elemento novedoso y lúdico, aunque la “incertidumbre” en los problemas podría frustrar a los alumnos con dificultades y provocar su abandono.

21. Los futuros profesores vinculados al constructivismo abogan por usar metodologías indagativas con frecuencia, para promover la construcción de significados sobre los conceptos científicos y aumentar el interés del alumnado (indagación como medio y como fin). Señalan que los alumnos podrían alternar etapas emocionales de

frustración y motivación –asociadas a obstáculos, comprensión y logros–, pero al final del proceso dominaría la satisfacción e ilusión hacia nuevos desafíos.

En síntesis, las reflexiones de los futuros profesores manifiestan una visión muy diferente sobre las metas principales de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, según sea su modelo didáctico. Esto a su vez se traduce en la elección de unos u otros tipos de actividades escolares, y en una percepción más o menos favorable sobre la indagación.

A partir de las conclusiones parciales para los objetivos 1–3, y tratando de dar respuesta a la primera pregunta de investigación, se puede decir que:

La validez de la propuesta formativa basada en la construcción de CDC parece constatada, pues a través de un enfoque basado en la observación y la reflexión, articulado a través de problemas profesionales, se favorece que los futuros profesores vayan evolucionando hacia modelos didácticos constructivistas, fundamentalmente a través de cambios en sus creencias metodológicas (promoviendo actividades abiertas, menos dirigidas, de naturaleza más indagativa...) aunque, como cabría esperar, este cambio conceptual mantiene una serie de creencias –en forma de amalgama– estables y resistentes al cambio.

8.2. Conclusiones en relación con la segunda pregunta de investigación

Esta segunda cuestión se centra en el aprendizaje de los estudiantes del Máster a través de la resolución de problemas abiertos sobre química escolar, y en cómo estas experiencias permiten conocer las características de la metodología indagativa utilizada:

«¿Cómo es el desarrollo de la competencia científica y el aprendizaje sobre las características de la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI) por parte de los futuros profesores, a raíz de resolver problemas abiertos escolares en la asignatura de Didáctica de la Química?»

Los tres últimos objetivos de la investigación permiten concretar respuestas a esta cuestión.

OBJETIVO 4: Analizar el nivel de competencia de los futuros profesores en la resolución de los problemas sobre cambios físicos y químicos.

La propuesta para Didáctica de la Química conlleva que, a través de la MRPI, los estudiantes del Máster resuelvan una secuencia de cuatro situaciones problemáticas escolares sobre los cambios físicos y químicos. Dos de los problemas se trabajan en grupos cooperativos, a partir del andamiaje de la formadora, y requieren elaborar informes finales individuales. Después, se realiza una puesta en común de los aprendizajes sobre cada problema, y los estudiantes reciben su informe revisado.

En relación al desarrollo de la competencia científica en el proceso de aprendizaje, en términos de logro en las dimensiones competenciales (DC) de la MRPI:

22. Los estudiantes evolucionan de forma favorable en el aprendizaje de las capacidades incluidas en la MRPI, alcanzando niveles de resolución elevados en la mayor parte de las dimensiones competenciales.
23. Las dimensiones competenciales que obtienen mejores resultados corresponden a la emisión de hipótesis (DC2) y a la resolución de los problemas (DC4).
24. Los niveles de competencia más bajos se obtienen en el diseño de estrategias de resolución (DC3), una fase que conlleva identificar y controlar las variables del problema y tomar decisiones para su resolución.
25. La mayor evolución en el proceso formativo corresponde al análisis cualitativo de los problemas (DC1) –sobre todo en relación a los conocimientos necesarios en el marco del problema (DC1.1)– y al análisis de resultados (DC5).

En cuanto a los aspectos más específicos de la mejoría en las dimensiones competenciales DC1.1 y DC5:

26. Los estudiantes mejoran su desempeño en la representación cualitativa de los problemas (DC1.1), llegando a proponer una mayor *interrelación* entre los procesos a los que se someten las sustancias –contacto o calentamiento– y los cambios concretos que pueden suceder, y a utilizar en sus análisis los distintos *niveles de representación* de las reacciones químicas.

27. Los estudiantes mejoran sus destrezas en el análisis de los resultados para los problemas (DC5), llegando a aportar evidencias más específicas para respaldar sus conclusiones e, incluso, a describir conflictos cognitivos a los que se han enfrentado, o aspectos susceptibles de ser explorados en sucesivas investigaciones.

En síntesis, los resultados del estudio permiten comprobar la pertinencia de la resolución de problemas abiertos escolares con la MRPI desde la asignatura de Didáctica de la Química. La propuesta formativa favorece la mejora en los niveles de competencia científica de los futuros profesores, y promueve su reflexión sobre conceptos implicados en problemas abiertos de química escolar, su representación y su utilidad práctica. Estos aspectos son coherentes con la finalidad de promover la construcción de CDC desde las asignaturas de didáctica del Máster.

OBJETIVO 5: Identificar la visión sostenida por los futuros profesores sobre la implementación de la MRPI en Educación Secundaria.

En primer lugar, a partir de la triangulación de los resultados del cuestionario final –de visión sobre la aplicabilidad de la MRPI– con las reflexiones realizadas en las entrevistas, se extraen percepciones asumidas en *consenso* por el grupo-clase.

En relación con las *fortalezas* percibidas en la implementación de la MRPI en Educación Secundaria:

28. Los futuros profesores asumen la utilidad de la MRPI para promover los logros escolares en dos de los tres ámbitos principales de la enseñanza de las ciencias: el desarrollo de *destrezas* científicas (procedimientos) y la promoción del *interés* hacia la ciencia y sus características (actitudes). La utilidad de la MRPI en relación al aprendizaje conceptual no es un rasgo consensuado por el grupo de estudiantes.

29. Los futuros profesores apoyan el papel de la MRPI como contribución al *aprendizaje cooperativo* y asumen su papel *motivador* –al menos, como elemento novedoso frente a la práctica escolar habitual–.

Respecto a las *debilidades* detectadas sobre la posible transferencia de la MRPI a la Educación Secundaria:

30. El «obstáculo» principal para que los estudiantes del Máster se decidan a incorporar la MRPI a su práctica futura corresponde a la *dificultad* que creen que puede suponer para el alumnado. Para justificar esta visión, señalan las “expectativas difusas” que podrían percibir los estudiantes (en términos de reformular los enunciados según su criterio, seguir sus propias estrategias...) y la complejidad de algunos de los procedimientos implicados en la MRPI (*p.ej.*, control de las variables o emisión de hipótesis).

31. Los estudiantes del Máster no contemplan que el trabajo con la MRPI contribuya a mejorar los logros en la resolución de *problemas cerrados* (o ejercicios), es decir, asumen la necesidad de una enseñanza-aprendizaje diferenciada para las actividades de naturaleza abierta y cerrada. Además, consideran que la MRPI lleva asociado un *consumo* elevado *de tiempo* de aula –percepción posiblemente influenciada por la anterior–.

En segundo lugar, respecto a la posible relación entre el grado de satisfacción (valoración positiva o negativa) hacia la MRPI y otros factores que caracterizan a los futuros profesores:

32. La percepción sobre la aplicabilidad de la indagación en Educación Secundaria se ve afectada por las creencias profesionales –en un sentido amplio– de los estudiantes del Máster. La visión sobre la MRPI es más favorable, en términos de significatividad estadística, para aquellos estudiantes más cercanos al modelo didáctico constructivista.

33. La visión acerca de la implementación de la MRPI en Secundaria no está condicionada por los logros de los futuros profesores en la resolución de los problemas abiertos de química, ni por sus titulaciones iniciales.

En tercer lugar, en relación a los factores que pueden condicionar la percepción diferente sobre la MRPI según sean las creencias profesionales:

34. El aspecto “fundamental” para contemplar o no el uso de la indagación en la futura práctica docente se relaciona con la visión sobre el *aprendizaje de conceptos*. Los estudiantes vinculados al modelo didáctico tradicional consideran que debe garantizarse su transmisión efectiva, tal y como los concibe el profesor y sin dejar cabos sueltos; por ello, no prevén un uso frecuente de la MRPI en su práctica. En cambio, los estudiantes cercanos al modelo constructivista asumen una visión de los conceptos ligada a la práctica, a su utilidad en la resolución de problemas. Además, consideran prioritaria la persistencia temporal del aprendizaje, que relacionan con el papel activo del alumnado. Por tanto, estos últimos estudiantes se muestran proclives a un uso habitual de la MRPI.

35. Los futuros profesores próximos al modelo didáctico tradicional cuestionan el uso de la indagación como medio, debido a la *dificultad* que acarrearía para el alumnado el asumir el control sobre su aprendizaje, y a su contraste con actividades hegemónicas como los *ejercicios numéricos*. Por el contrario, los estudiantes vinculados al modelo constructivista ponen en valor el impacto positivo que podría tener la MRPI en los resultados escolares, al promover una mejor comprensión conceptual y procedimental, que podría analizarse a través de múltiples indicadores. Además, el foco de estos futuros profesores se sitúa en favorecer destrezas metacognitivas, o en contribuir a mejorar el interés hacia la ciencia, más que en seguir actividades sin más justificación que la “tradicición”.

En síntesis, el trabajo con la MRPI en la asignatura de Didáctica de la Química origina que los participantes asuman fortalezas (*p.ej.*, contribución al desarrollo de destrezas científicas) y debilidades (*p.ej.*, su dificultad) sobre su posible aplicación en la Educación Secundaria. Esta percepción sobre la MRPI está condicionada por las creencias profesionales, y parece difícil que los estudiantes con creencias «tradicionales» arraigadas se inclinen a utilizarla en su práctica, debido al “antagonismo” que supone en relación a su visión sobre el aprendizaje conceptual. En cambio, la MRPI se adecúa muy bien a las características sobre la enseñanza-aprendizaje asumidas por los futuros docentes vinculados al modelo constructivista.

OBJETIVO 6: Ejemplificar la transferencia de la MRPI a Educación Secundaria durante las prácticas docentes.

El autor de esta tesis es el profesor en prácticas interviniente en la asignatura de Ampliación de Física y Química de 4º de ESO, donde plantea una secuencia de 3 situaciones problemáticas abiertas de tipo CTSA. Del desarrollo de este objetivo, se concluye:

36. La introducción de la MRPI en 4º de ESO conlleva una mejora muy relevante en las dimensiones de la competencia científica relativas a la planificación de investigaciones. Asimismo, los escolares obtienen niveles de logro satisfactorios en las distintas etapas de la MRPI, demostrando un aprendizaje eficaz sobre la metodología que son capaces de trasladar a problemas que abordan contenidos científicos diferentes.

37. El trabajo sobre la MRPI en la asignatura de Didáctica de la Química, combinado con una adecuada labor de tutoría y mentoría en el Practicum, promueve las destrezas de «andamiaje» del profesor en prácticas al implementar situaciones problemáticas abiertas en Educación Secundaria. Esta continuación de la propuesta sobre las actividades indagativas, supone un elemento de reflexión acerca de los beneficios y desafíos de la MRPI, y sobre la autoeficacia, contribuyendo a la construcción de CDC personal.

En síntesis, el Practicum supone una oportunidad excelente para reforzar los presupuestos metodológicos propugnados desde las asignaturas de didáctica, terminar de vincular los problemas profesionales con la labor de aula, implementar estrategias de enseñanza-aprendizaje innovadoras y reflexionar sobre la propia práctica y la respuesta de los escolares a la misma –todos ellos, elementos influyentes para construir CDC–.

A partir de las conclusiones parciales para los objetivos 4–6, y tratando de dar respuesta a la segunda pregunta de investigación, se puede decir que:

A través de la resolución de problemas abiertos escolares, los futuros profesores progresan en su desarrollo de la competencia científica –en aspectos como la representación cualitativa de situaciones problemáticas de química– y, a su vez, la reflexión vinculada a este aprendizaje propicia la asunción de fortalezas (p.ej., el desarrollo de destrezas científicas) y debilidades (p.ej., la dificultad) sobre la indagación y sobre la MRPI, que se encuentran fuertemente condicionadas por sus creencias profesionales, siendo más positivas en el caso de los estudiantes próximos al constructivismo, pero en todo caso, conviene que el aprendizaje desarrollado tenga su continuidad en el Practicum, para comprobar el efecto “real” de la indagación y su acogida por parte de los escolares.

8.3. Perspectiva de futuro

Las reflexiones descritas en los últimos capítulos sugieren distintas líneas sobre las que seguir investigando en próximos trabajos. Del mismo modo, y sin que vaya en contra de un efecto global satisfactorio de la propuesta formativa, los «obstáculos» detectados para que el futuro profesorado asuma un modelo didáctico constructivista promueven la introducción de ciertas **mejoras** en el programa (algunas de ellas se describieron en el Artículo 5).

En primer lugar, las respuestas finales de los participantes en varios de los instrumentos parecen mostrar un cierto “absolutismo epistemológico”. Como ya se ha comentado, es cierto que otras investigaciones sobre el futuro profesorado de Secundaria sugieren la dificultad para modificar sus concepciones sobre la Naturaleza de la Ciencia – sobre todo si no se trabaja de forma expresa– (Benarroch et al., 2013; Morrison et al., 2009). Sin embargo, el contexto presentado sobre la resolución de problemas escolares con la MRPI, combinado con tareas metarreflexivas acerca de los procesos desarrollados, actividades sobre la historia de la ciencia, debates diversos, etc. (Acevedo & García-Carmona, 2016; McDonald, 2010), debería ser adecuado para contribuir a este objetivo. Por ello, en vistas a futuras ediciones del Máster habrá que reflexionar sobre el modo en que las actividades del programa, o el rol de los formadores, pueden promover una mejor comprensión sobre las *características de la actividad científica* –lo que conforma uno de los “tres aspectos” con los que habitualmente se asocia la indagación (Abd-El-Khalick et al., 2004; Barrow, 2006)–.

En relación con la resolución de problemas a través de la MRPI, se ha observado que, por una parte, los futuros profesores la contemplan como una metodología “complicada” para el alumnado de Secundaria y, por otra, que principalmente prevén su uso como «aplicación» de los aprendizajes previos. En este sentido, el *andamiaje* ofrecido por los formadores en las asignaturas resulta intencionadamente “exigente” para los participantes, con la idea de que las actividades supongan verdaderos retos y permitan la reflexión sobre las características de este tipo de aprendizaje (Pilitsis & Duncan, 2012). Sin embargo, los resultados obtenidos demandan una reflexión sobre cómo adaptar este rol docente, o compatibilizarlo con otras actividades –*p.ej.*, el diseño y discusión sobre distintos tipos de andamiaje (Van der Valk & de Jong, 2009; Crujeiras, 2017)–, para favorecer una visión final más positiva sobre la dificultad de la MRPI. Por otra parte, dado que el mayor o menor uso de la indagación suele responder a creencias como su escasa contribución para resolver «ejercicios» (Gil-Pérez et al., 1999) o el consumo de tiempo (Gyllenpalm et al., 2010), podría ser interesante incluir un análisis en estos términos de Unidades Didácticas –UD– ajenas (*p.ej.*, las realizadas por los compañeros, el material disponible de ediciones anteriores del Máster, etc.). Es decir, podría incluirse alguna actividad reflexiva semejante a la propuesta por Jiménez-Tenorio y Oliva (2016a), donde se presenten UD completas con distintos enfoques.

Además, independientemente de las mejoras específicas para las asignaturas de Didáctica de la Química y de la Física, un aspecto de gran trascendencia es el de la coherencia entre las *estrategias utilizadas* en las distintas materias para formar a los futuros profesores y, sobre todo, en el módulo específico. Las asignaturas como «Complementos de física/química» o «Investigación, innovación y diseño curricular» (ver Tabla 2.4, pág. 23) suponen una oportunidad excelente para seguir abordando el uso de metodologías indagativas, proponer actividades sobre la Naturaleza de la Ciencia y favorecer una visión crítica sobre los modelos didácticos de tipo transmisivo. Por ello, para futuras ediciones convendría seguir avanzando en la coordinación entre estas materias, para conseguir un efecto global más eficaz y optimizar el tiempo disponible para formar al futuro profesorado.

Del análisis realizado en esta memoria también se extraen aspectos que convendría ***investigar en un futuro***, para seguir contribuyendo a esta línea de trabajo de la didáctica de las ciencias. Posiblemente, el principal corresponde al CDC implicado en las Unidades Didácticas diseñadas por los futuros profesores, así como a su evolución a lo largo de las asignaturas, su relación con las actividades formativas y su coherencia con las creencias declaradas por los participantes (Solís et al., 2012). Además, teniendo en cuenta el Modelo de Consenso sobre el CDC (Kind, 2015), un aspecto de interés sería el análisis de hasta qué punto el aprendizaje profesional conseguido a través de las UD ejemplificadas sería transferible al diseño de propuestas didácticas sobre temáticas diferentes, y para niveles educativos distintos.

Por otra parte, en un futuro próximo pretendemos avanzar en el estudio de las reflexiones de tipo metacognitivo y las emociones de los estudiantes del Máster *durante* la resolución de los problemas abiertos escolares con la MRPI, para obtener una visión más amplia sobre su aprendizaje acerca de este tipo de metodologías «alternativas». Asimismo, a raíz de la transferencia positiva de la propuesta al Practicum (Rodríguez-Arteche et al., 2016), se pretende analizar este periodo formativo con una muestra más amplia de estudiantes. ¿Hasta qué punto factores como las creencias profesionales, los tutores/mentores, los resultados de los escolares, las emociones, etc., repercuten en la práctica docente de los participantes y en la reflexión sobre la misma?

En todos los procesos mencionados, conviene destacar la relevancia de los distintos sujetos implicados en la formación de los docentes y en la investigación asociada. Una adecuada preparación del profesorado –el “agente clave” para el éxito educativo–, que posibilite su práctica reflexiva, su integración en grupos de trabajo y su vinculación con las innovaciones didácticas repercutirá, con toda probabilidad, en una mejora de los aprendizajes científicos de los futuros ciudadanos.

Referencias Bibliográficas

BIBLIOGRAFÍA

- AAAS (1989). *Science for All Americans*. Washington D.C.: American Association for the Advancement of Science. Recuperado de: <http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm>
- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N.G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., ... Tuan, H-L. (2004). Inquiry in Science Education: International Perspectives. *Science Education*, 88(3), 397–419.
- Abell, S.K. (2008). Twenty Years Later: Does pedagogical content knowledge remain a useful idea? *International Journal of Science Education*, 30(10), 1405–1416.
- Abril, A.M., Romero-Ariza, M., Quesada, A. & García, F.J. (2014). Creencias del profesorado en ejercicio y en formación sobre el aprendizaje por investigación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(1), 22–33.
- Acevedo, J.A. (2009). Conocimiento Didáctico del Contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (I): el marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 21–46.
- Acevedo, J.A. & García-Carmona, A. (2016). «Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado». Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 3–19.
- Acevedo, J.A., García-Carmona, A. & Aragón, M.M. (2016). Un caso de Historia de la Ciencia para aprender Naturaleza de la Ciencia: Semmelweis y la fiebre puerperal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 408–422.
- Acevedo, J. A., García-Carmona, A. & Aragón, M.M. Historia de la ciencia para enseñar naturaleza de la ciencia: una estrategia para la formación inicial del profesorado de ciencia. *Educación Química* (2017). Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eq.2016.12.003>
- Acevedo, J.A., Vázquez, A. & Manassero, M.A. (2003). Papel de la educación CTS en una alfabetización científica y tecnológica para todas las personas. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 2(2), 80–111.
- Aguilar, C.M. (2013). *Bases conceptuales y metodológicas de la educación ambiental. Una evaluación de conceptos estructurantes de ecología en la enseñanza secundaria*. Tesis Doctoral: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/18029/>
- Akerson, V.L., Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N.G. (2000). Influence of a Reflective Explicit Activity-Based Approach on Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(4), 295–317.
- Akerson, V.L. & Hanuscin, D.L. (2007). Teaching Nature of Science through Inquiry: Results of a 3-Year Professional Development Program. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(5), 653–680.
- Akerson, V.L., Morrison, J.A. & McDuffie, A.R. (2006). One Course is not Enough: Preservice Elementary Teachers' Retention of Improved Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(2), 194–213.
- Aliberas, J., Izquierdo, M. & Gutiérrez, R. (2013). Diseño de una secuencia didáctica sobre hidrostática, teóricamente fundamentada: El papel de la modelización y de la emoción. *Enseñanza de las Ciencias*, N° extra, 84–90.

- Alonzo, A.C. & Kim, J. (2016). Declarative and Dynamic Pedagogical Content Knowledge as Elicited Through Two Video-Based Interview Methods. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), 1259–1286.
- Álvarez, P., Cepero, S., Arce, C. & Perales, F.J. (2013). Posibilidades del escalamiento subjetivo como técnica de análisis del pensamiento espontáneo del profesorado de ciencias en formación. *Profesorado, Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 17(2), 347–368.
- Anderson, R.D. (2002). Reforming Science Teaching: What Research says about Inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1–12.
- Anderson, R.D. (2007). Inquiry as an Organizing Theme for Science Curricula. En S.K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 807–830). New York: Routledge.
- Appleton, K. (2006). Science Pedagogical Content Knowledge and Elementary School Teachers. En K. Appleton (Ed.), *Elementary Science Teacher Education: International Perspectives on Contemporary Issues and Practice* (pp. 31–54). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Aragón, M.M., Oliva, J.M. & Navarrete, A. (2013). Evolución de los modelos explicativos de los alumnos en torno al cambio químico a través de una propuesta didáctica con analogías. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 9–30.
- Aragón, M.M., Oliva, J.M. & Navarrete, A. (2014). Desarrollando la competencia de modelización mediante el uso y aplicación de analogías en torno al cambio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 337–356.
- Ash, D. & Levitt, K. (2003). Working within the Zone of Proximal Development: Formative Assessment as Professional Development. *Journal of Science Teacher Education*, 14(1), 23–48.
- Aydeniz, M. & Kirbulut, Z.D. (2014). Exploring challenges of assessing pre-service science teachers' pedagogical content knowledge (PCK). *Asia-Pacific Journal of Teacher Education*, 42(2), 147–166.
- Ball, D.L., Thames, M.H. & Phelps, G. (2008). Content Knowledge for Teaching. What makes it special? *Journal of Teacher Education*, 59(5), 389–407.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Banet, E. (2010). Finalidades de la educación científica en Educación Secundaria: Aportaciones de la investigación educativa y opinión de los profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 199–214.
- Bárcena, A.I. (2015). *Estudio de la influencia de una metodología investigativa de resolución de problemas en el aprendizaje de la química en alumnos de bachillerato*. Tesis Doctoral: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/30524/>
- Bardín, L. (1996). *Análisis de contenido* (2ª edición). Madrid: AKAL.
- Barrow, L.H. (2006). A Brief History of Inquiry: From Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3), 265–278.
- Báxter, J.A. & Lederman, N.G. (1999). Assessment and Measurement of Pedagogical Content Knowledge. En J. Gess-Newsome & N.G. Lederman (Eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education* (pp. 147–161). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Bell, B. & Gilbert, J. (1994). Teacher development as professional, personal, and social development. *Teaching and Teacher Education*, 10(5), 483–497.

- Bell, R.L., Smetana, L. & Binns, I. (2005). Simplifying Inquiry Instruction: Assessing the inquiry level of classroom activities. *The Science Teacher*, 72(7), 30–33.
- Bellocchi, A. & Ritchie, S.M. (2015). “I Was Proud of Myself That I Didn’t Give Up and I Did It”: Experiences of Pride and Triumph in Learning Science. *Science Education*, 99(4), 638–668.
- Benarroch, A. (2011). Diseño y desarrollo del máster en profesorado de educación secundaria durante su primer año de implantación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8(1), 20–40.
- Benarroch, A., Cepero, S. & Perales, F.J. (2013). Implementación del Máster de Profesorado de Secundaria: aspectos metodológicos y resultados de su evaluación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 594–615.
- Bertram, A. (2014). CoRes and PaP-eRs as a strategy for helping beginning primary teachers develop their pedagogical content knowledge. *Educación Química*, 25(3), 292–303.
- Bertram, A. & Loughran, J. (2012). Science Teachers’ Views on CoRes and PaP-eRs as a Framework for Articulating and Developing Pedagogical Content Knowledge. *Research in Science Education*, 42(6), 1027–1047.
- Bevins, S. & Price, G. (2016). Reconceptualising inquiry in science education. *International Journal of Science Education*, 38(1), 17–29.
- Blanchard, M.R., Southerland, S.A. & Granger, E.M. (2009). No Silver Bullet for Inquiry: Making Sense of Teacher Change Following an Inquiry-Based Research Experience for Teachers. *Science Education*, 93(2), 322–360.
- Blanco, A., España, E. & Rodríguez-Mora, F. (2012). Contexto y enseñanza de la competencia científica. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 9–18.
- Blanco, A., Franco-Mariscal, A.J. & España, E. (2017). Enseñar química en el contexto de problemas y situaciones de la vida diaria relacionados con la salud. *Educación Química*, 20, 40–47.
- Bolívar, A. (2006). *La identidad profesional del profesorado de secundaria: crisis y reconstrucción*. Archidona: Aljibe.
- Brincones, M.I., Aparicio, J.J. & Rodríguez-Moneo, M. (1991). *La Formación Inicial del Profesorado: El conocimiento de base, los métodos y su evaluación en la experiencia FIPS*. Madrid: MEC. ICE de la Universidad Autónoma de Madrid.
- Broughton, S.H., Sinatra, G.M. & Nussbaum, E.M. (2013). “Pluto Has Been a Planet My Whole Life!” Emotions, Attitudes, and Conceptual Change in Elementary Students’ Learning about Pluto’s Reclassification. *Research in Science Education*, 43(2), 529–550.
- Bruner, J. (1986). *Actual Minds, Possible Worlds*. Massachusetts: Harvard University Press.
- Bryan, L.A. (2003). Nestedness of Beliefs: Examining a Prospective Elementary Teacher’s Belief System about Science Teaching and Learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(9), 835–868.
- Bryan, L.A. (2012). Research on Science Teacher Beliefs. En B.J. Fraser, K.G. Tobin & C.J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 477–495). Dordrecht: Springer.
- Bybee, R.W. (2011). Scientific and Engineering Practices in K-12 Classrooms: Understanding “A Framework for K-12 Science Education”. *Science Teacher*, 78(9), 34–40.

- Bybee, R.W. & Fuchs, B. (2006). Preparing the 21st Century Workforce: A New Reform in Science and Technology Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(4), 349–352.
- Caamaño, A. (1992). Los trabajos prácticos en ciencias experimentales. Una reflexión sobre sus objetivos y una propuesta para su diversificación. *Aula de Innovación Educativa*, 9, 61–68.
- Caamaño, A. (2006). Retos del currículum de química en la educación secundaria. La selección y contextualización de los contenidos de química en los currículos de Inglaterra, Portugal, Francia y España. *Educación Química*, 17, 195–208.
- Caamaño, A. (2012). ¿Cómo introducir la indagación en el aula? Los trabajos prácticos investigativos. *Alambique. Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 70, 83–91.
- Cachapuz, A.F. (2016). Cultura científica e defesa da cidadania. *Campo Abierto*, 35(1), 3–12.
- Cadenas, C. & Huertas, F.J. (2013). Informe PISA en España. Un análisis al detalle. *Profesorado, Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 17(2), 243–262.
- Campanario, J.M. (2000). El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), 369–380.
- Campanario, J.M., Cuerva, J., Moya, A. & Otero, J.C. (1998). La metacognición y el aprendizaje de las ciencias. En E. Banet & A. Pro (Eds.), *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias (Vol. 1)* (pp. 36–44). Murcia: DM.
- Campanario, J.M. & Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 179–192.
- Cañal, P. (2000). El conocimiento profesional sobre las ciencias y la alfabetización científica en primaria. *Alambique. Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 24, 46–56.
- Cañal, P. (2012). ¿Cómo evaluar la competencia científica? *Investigación en la Escuela*, 78, 5–17.
- Cañal, P. & Porlán, R. (1987). Investigando la realidad próxima: Un modelo didáctico alternativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(2), 89–96.
- Cañas, A., Martín-Díaz, M.J. & Nieda, J. (2007). *Competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico: la competencia científica*. Madrid: Alianza Editorial.
- Capon, N. & Kuhn, D. (2004). What's so Good about Problem-Based Learning? *Cognition and Instrucion*, 22(1), 61–79.
- Capps, D.K. & Crawford, B.A. (2013). Inquiry-Based Instruction and Teaching About Nature of Science: Are They Happening? *Journal of Science Teacher Education*, 24(3), 497–526.
- Capps, D.K., Crawford, B.A. & Constatas, M.A. (2012). A Review of Empirical Literature on Inquiry Professional Development: Alignment with Best Practices and a Critique of the Findings. *Journal of Science Teacher Education*, 23(3), 291–318.
- Carlson, J. & Gess-Newsome, J. (2013). The PCK Summit Consensus Model and Definition of Pedagogical Content Knowledge. En *Reports from the Pedagogical Content Knowledge (PCK) Summit*. ESERA Conference 2013, Nicosia, Cyprus.
- Carlson, J., Stokes, L., Helms, J., Gess-Newsome, J. & Gardner, A. (2015). The PCK Summit: A process and structure for challenging current ideas, provoking future work, and considering new directions. En A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 14–27). London: Routledge.

- Chamizo, J.A. & Izquierdo, M. (2005). Ciencia en contexto: una reflexión desde la filosofía. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 46, 9–17.
- Chen, J.A., Morris, D.B. & Mansour, N. (2015). Science Teachers' Beliefs: Perceptions of Efficacy and the Nature of Scientific Knowledge and Knowing. En H. Fives & M. G. Gill (Eds.), *International Handbook of Research on Teachers' Beliefs* (pp. 370–386). New York: Routledge.
- Chevallard, Y. (1985). *La transposition didactique*. Grenoble: La Pensée Sauvage.
- Chi, M. & Glaser, R. (1986). Capacidad de resolución de problemas. En R.J. Sternberg (Ed.), *Las capacidades humanas: un enfoque desde el procesamiento de la información* (pp. 293–323). Barcelona: Labor.
- Chin, C. & Chia, L-G. (2006). Problem-Based Learning: Using Ill-Structured Problems in Biology Project Work. *Science Education*, 90(1), 44–67.
- Chiappetta, E.L. (2008). Historical Development of Teaching Science as Inquiry. En J. Luft, R.L. Bell & J. Gess-Newsome (Eds.), *Science as Inquiry in the Secondary Setting* (pp. 21–30). Arlington, Virginia: NSTA Press.
- Clement, J. (2000). Model Based Learning as a Key Research Area for Science Education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041–1053.
- Clermont, C.P., Borko, H. & Krajcik, J.S. (1994). Comparative Study of the Pedagogical Content Knowledge of Experienced and Novice Chemical Demonstrators. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(4), 419–441.
- Cochran-Smith, M. (2001). The outcomes question in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 17(5), 527–546.
- Cochran-Smith, M., Villegas, A.M., Abrams, L., Chavez-Moreno, L., Mills, T. & Stern, R. (2015). Critiquing Teacher Preparation Research. *Journal of Teacher Education*, 66(2), 109–121.
- Colburn, A. (2000). An Inquiry Primer. *Science Scope*, 23(6), 42–44.
- Coll, C. (1991). *Psicología y currículum*. Barcelona: Paidós.
- Cooper, R. & Loughran, J. (2015). Science teachers' PCK. Understanding sophisticated practice. En A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 60–74). London: Routledge.
- Corrales, A.R.. (2010). La programación a medio plazo dentro del tercer nivel de concreción: las Unidades Didácticas. *EmásF, Revista Digital de Educación Física*, 1(2), 1–13.
- Cortés, Y., Montoro, A.B., Jiménez-Liso, M.R. & Gil-Cuadra, F. (2016). Perfiles de profesores de secundaria en formación inicial con relación a la química cotidiana. *Educación Química*, 27(2), 143–153.
- Costillo, E., Borrachero, A.B., Brígido, M. & Mellado, V. (2013). Las emociones sobre la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y las matemáticas de futuros profesores de Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 514–532.
- Couso, D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. En M.A. de las Heras et al. (Eds.), *Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante*. Huelva: SP-UHU. Recuperado de: http://uhu.es/26edce/actas/docs/conferencias/pdf/26ENCUENTRO_DCE-ConferenciaPlenariaInaugural.pdf

- Couso, D. & Pintó, R. (2009). Análisis del contenido del discurso cooperativo de los profesores de ciencias en contextos de innovación didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(1), 5–18.
- Crawford, B.A. (2000). Embracing the Essence of Inquiry: New Roles for Science Teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(9), 916–937.
- Crawford, B.A. (2007). Learning to Teach Science as Inquiry in the Rough and Tumble of Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(4), 613–642.
- Crippen, K.J. & Archambault, L. (2012). Scaffolded Inquiry-Based Instruction with Technology: A Signature Pedagogy for STEM Education. *Computers in the Schools*, 29(1–2), 157–173.
- Crisswell, B. (2012). Framing Inquiry in High School Chemistry: Helping Students See the Bigger Picture. *Journal of Chemical Education*, 89(2), 199–205.
- Crujeiras, B. (2017). *Competencias e prácticas científicas no laboratorio de química: Participación do alumnado de secundaria na indagación*. Tesis Doctoral: Universidade de Santiago de Compostela. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10347/12072>
- Crujeiras, B. (2017). Análisis de las estrategias de apoyo elaboradas por futuros docentes de educación secundaria para guiar al alumnado en la indagación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 473–486.
- Crujeiras, B. & Jiménez-Aleixandre, M.P. (2013). Challenges in the implementation of a competency-based curriculum in Spain. *Thinking Skills and Creativity*, 10, 208–220.
- Crujeiras, B. & Jiménez-Aleixandre, M.P. (2015a). Análisis de la competencia científica de alumnado de secundaria: respuestas y justificaciones a ítems de PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 385–401.
- Crujeiras, B. & Jiménez-Aleixandre, M.P. (2015b). Desafíos planteados por las actividades abiertas de indagación en el laboratorio: articulación de conocimientos teóricos y prácticos en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 63–84.
- Crujeiras, B. & Jiménez-Aleixandre, M.P. (2017). High school students' engagement in planning investigations: findings from a longitudinal study in Spain. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(1), 99–112.
- Darder, P. (2009). La función indispensable de las emociones en la formación personal y en la educación. En M. de Puellas (Ed.), *Profesión y vocación docente. Presente y futuro*. Madrid: Biblioteca Nueva.
- De Jong, O., Van Driel, J.H. & Verloop, N. (2005). Preservice Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Using Particle Models in Teaching Chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(8), 947–964.
- DeBoer, G.E. (2000). Scientific Literacy: Another Look at its Historical and Contemporary Meanings and its Relationship to Science Education Reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 582–601.
- Deci, E.L. & Ryan, R.M. (2000). The “What” and “Why” of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry*, 11(4), 227–268.
- Dewey, J. (1938). *Experience and Education*. New York: Macmillan.
- Díaz-Moreno, N. & Jiménez-Liso, M.R. (2012). Las controversias sociocientíficas: temáticas e importancia para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 54–70.

- Dillon, J. (2008). *A Review of the Research on Practical Work in School Science*. London. Recuperado de: http://www.score-education.org/media/3671/review_of_research.pdf
- Domènech, J. & Ruiz-España, N. (2017). Mission to stars: un proyecto de investigación alrededor de la astronomía, las misiones espaciales y la investigación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 98–114.
- Domínguez-Castiñeiras, J.M., Pro, A. & García-Rodeja, E. (1998). Las partículas de la materia y su utilización en el campo conceptual de Calor y Temperatura: Un estudio transversal. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 461–475.
- Dopazo, A. (2004). *Diseño de situaciones problemáticas abiertas para el desarrollo de la unidad didáctica «La luz», en sexto de Primaria*. Memoria de investigación del Diploma de Estudios Avanzados. Universidad Complutense de Madrid.
- Drechsel, B., Carstensen, C. & Prenzel, M. (2011). The Role of Content and Context in PISA Interest Scales: A study of the embedded interest items in the PISA 2006 science assessment. *International Journal of Science Education*, 33(1), 73–95.
- Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109–120.
- Duschl, R. (2008). Science Education in Three-Part Harmony: Balancing Conceptual, Epistemic, and Social Learning Goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268–291.
- English, M.C. & Kitsantas, A. (2013). Supporting Student Self-Regulated Learning in Problem- and Project-based Learning. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 7(2), 128–150.
- Erduran, S., Simon, S. & Osborne, J. (2004). TAPping into Argumentation: Developments in the Application of Toulmin's Argument Pattern for Studying Science Discourse. *Science Education*, 88(6), 915–933.
- Escrivà, I. & Rivero, A. (2017). Progresión de las ideas de los futuros maestros sobre la construcción del conocimiento científico a través de mapas generados en una secuencia de actividades. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 199–214.
- España, E., Rueda, J.A. & Blanco, A. (2013). Juegos de rol sobre el calentamiento global. Actividades de enseñanza realizadas por estudiantes de ciencias del Máster en Profesorado de Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 763–779.
- Esteve, J.M. (1997). *La formación inicial de los profesores de secundaria*. Barcelona: Ariel Educación.
- Esteve, J.M. (2006). La profesión docente en Europa: perfil, tendencias y problemática. La formación inicial. *Revista de Educación*, 340, 19–40.
- EURYDICE (2013). *Key Data on Teachers and School Leaders in Europe*. Luxembourg. Recuperado de: http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/documents/key_data_series/151EN.pdf
- Evagorou, M., Dillon, J., Viiri, J. & Albe, V. (2015). Pre-Service Science Teacher Preparation in Europe: Comparing Pre-Service Teacher Preparation Programs in England, France, Finland and Cyprus. *Journal of Science Teacher Education*, 26(1), 99–115.
- Ezquerro, A., Burgos, E. & Manso, J. (2016). Estudio comparativo sobre las estrategias desarrolladas por los futuros docentes de Primaria y Secundaria en la elaboración de audiovisuales educativos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 493–504.

- Ezquerro, A. & Fernández-Sánchez, B. (2014). Análisis del contenido científico de la publicidad en la prensa escrita. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(3), 275–289.
- Ezquerro, A., Fernández-Sánchez, B. & Magaña, M. (2015a). Verdad, mentira... verdad, mentira... Enséñame a decidir. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 81, 9–16.
- Ezquerro, A., Fernández-Sánchez, B. & Magaña, M. (2015b). Qué contenidos científicos proponen los partidos políticos y su repercusión en la alfabetización científica de la ciudadanía. Estudio sobre el tópico “energía”. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 491–507.
- Fazio, X., Melville, W. & Bartley, A. (2010). The Problematic Nature of the Practicum: A Key Determinant of Pre-service Teachers’ Emerging Inquiry-Based Science Practices. *Journal of Science Teacher Education*, 21(6), 665–681.
- FECYT (2015). *Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología 2014*. Retrieved from <https://www.fecyt.es/es/publicacion/percepcion-social-de-la-ciencia-y-la-tecnologia-2014>
- Feiman-Nemser, S. (2001). From Preparation to Practice: Designing a Continuum to Strengthen and Sustain Teaching. *Teachers College Record*, 103(6), 1013–1055.
- Felder, R.M. & Silverman, L.K. (1988). Learning and Teaching Styles in Engineering Education. *Engineering Education*, 78(7), 674–681.
- Fensham, P.J. (2009). Real World Contexts in PISA Science: Implications for Context-Based Science Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 884–896.
- Fernández-Enguita, M. (2016). *La educación en la encrucijada*. Madrid: Santillana.
- Fernández-González, J. & Elortegui, N. (1996). Qué piensan los profesores acerca de cómo se debe enseñar. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 331–342.
- Fernández-González, J. & Marrero, J.J. (2013). La estrategia del análisis teórico de la práctica de profesores de Secundaria en formación: los incidentes críticos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 694–708.
- Fernández-González, J., Elortegui, N., Rodríguez-García, J. F. & Moreno-Jiménez, T. (2001). *Modelos Didácticos y Enseñanza de las Ciencias*. Tenerife: Centro de la Cultura Popular Canaria.
- Fernández-Nistal, M.T., Pérez-Ibarra, R.E., Peña, S.H. & Mercado, S.M. (2011). Concepciones sobre la enseñanza del profesorado y sus actuaciones en clases de ciencias naturales de educación secundaria. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 16, 571–596.
- Ferrés, C. (2017). El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 410–426.
- Ferrés, C., Marbà, A. & Sanmartí, N. (2015). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 22–37.
- Field, A. (2009). *Discovering Statistics Using SPSS* (3rd ed.). London: SAGE.
- Fives, H. & Buehl, M.M. (2012). Spring cleaning for the “messy” construct of teachers’ beliefs: What are they? Which have been examined? What can they tell us? En K.R. Harris, S. Graham & T. Urdan (Eds.), *APA Educational Psychology Handbook: Vol. 2. Individual Differences and Cultural and Contextual Factors* (pp. 471–499). American Psychological Association.

- Fives, H., Lacatena, N. & Gerard, L. (2015). Teachers' Beliefs about Teaching (and Learning). En H. Fives & M.G. Gill (Eds.), *International Handbook of Research on Teachers' Beliefs* (pp. 249–265). New York: Routledge.
- Fraenkel, J.R., Wallen, N.E. & Hyun, H.H. (2015). *How to Design and Evaluate Research in Education* (9th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Franco-Mariscal, A.J. (2015). Competencias científicas en la enseñanza y el aprendizaje por investigación. Un estudio de caso sobre corrosión de metales en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(2), 231–252.
- Franco-Mariscal, A.J., Blanco, A. & España, E. (2017). Diseño de actividades para el desarrollo de competencias científicas. Utilización del marco de PISA en un contexto relacionado con la salud. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 38–53.
- Friedrichsen, P. (2015). My PCK research trajectory. A purple book prompts new questions. En A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 147–161). London: Routledge.
- Friedrichsen, P., Van Driel, J.H. & Abell, S.K. (2011). Taking a Closer Look at Science Teaching Orientations. *Science Education*, 95(2), 358–376.
- Fuentes, M.J., García-Barros, S. & Martínez-Losada, C. (2009). ¿En qué medida cambian las ideas de los futuros docentes de Secundaria sobre qué y cómo enseñar, después de un proceso de formación? *Revista de Educación*, 349, 269–294.
- Furió, C. (1994). Tendencias actuales en la formación del profesorado de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 188–199.
- Furió, C. & Carnicer, J. (2002). El desarrollo profesional del profesor de ciencias mediante tutorías de grupos cooperativos. Estudio de ocho casos. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(1), 47–73.
- Furió, C., Vilches, A., Guisasola, J. & Romo, V. (2001). Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la Secundaria Obligatoria. ¿Alfabetización científica o preparación propedéutica? *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 365–376.
- Furtak, E.M. (2012). Linking a Learning Progression for Natural Selection to Teachers' Enactment of Formative Assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(9), 1181–1210.
- Furtak, E.M., Seidel, T., Iverson, H. & Briggs, D.C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300–329.
- Gagliardi, R. (1986). Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 30–35.
- Gagné, R. (1965). *The Conditions of Learning*. New York: Holt, Rinehart & Wilson.
- Galagovsky, L.R. (2004). Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte 1: el modelo teórico. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(2), 229–240.
- García-Barros, S. (2016). Conocimiento Científico Conocimiento Didáctico. Una tensión permanente en la formación docente. *Campo Abierto*, 35(1), 31–44.
- García-Carmona, A. (2012). Cómo enseñar Naturaleza de la Ciencia (NDC) a través de experiencias escolares de investigación científica. *Alambique. Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 72, 55–63.

- García-Carmona, A. (2013). Educación científica y competencias docentes: Análisis de las reflexiones de futuros profesores de Física y Química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 552–567.
- García-Carmona, A., Criado, A. M. & Cruz-Guzmán, M. Primary preservice teachers' skills in planning a guided scientific inquiry. *Research in Science Education* (2016). Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9536-8>
- García-Pérez, F.F. (2000). Los modelos didácticos como instrumento de análisis y de intervención en la realidad educativa. *Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 207. Recuperado de: <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-207.htm>
- Garrett, R.M. (1986). Problem solving and creativity in Science Education. *Studies in Science Education*, 13, 70–95.
- Garritz, A. (2010). Pedagogical Content Knowledge and the Affective domain of Scholarship of Teaching and Learning. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 4(2), 1–6.
- Garritz, A. (2013). PCK for dummies. *Educación Química*, 24, 462–465.
- Garritz, A. (2015). PCK for dummies. Part 2: Personal vs Canonical PCK. *Educación Química*, 26(2), 77–80.
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical Content Knowledge: An Introduction and Orientation. En J. Gess-Newsome & N.G. Lederman (Eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education* (pp. 3–20). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK. Results of the thinking from the PCK Summit. En A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 28–42). London: Routledge.
- Gess-Newsome, J. & Lederman, N.G. (1995). Biology Teachers' Perceptions of Subject Matter Structure and its Relationship to Classroom Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(3), 301–325.
- Gess-Newsome, J., Southerland, S.A., Johnston, A. & Woodbury, S. (2003). Educational Reform, Personal Practical Theories, and Dissatisfaction: The Anatomy of Change in College Science Teaching. *American Educational Research Journal*, 40(3), 731–767.
- Gil-Pérez, D. (1991). ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 69–77.
- Gil-Pérez, D. (1993a). Aportaciones de la investigación en didáctica de las ciencias a la formación y actividad del profesorado. *Curriculum*, 6–7, 45–66.
- Gil-Pérez, D. (1993b). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197–212.
- Gil-Pérez, D. & Carrascosa, J. (1990). What to Do About Science “Misconceptions”. *Science Education*, 74(5), 531–540.
- Gil-Pérez, D., Furió, C., Valdés, P., Salinas, J., Martínez-Torregrosa, J., Guisasola, J., ... Pessoa, A.M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 311–320.

- Gil-Pérez, D., Guisasola, J., Moreno, A., Cachapuz, A., Pessoa, A.M., Martínez-Torregrosa, J., ... Gallego, R. (2002). Defending Constructivism in Science Education. *Science & Education*, 11(6), 557–571.
- Gil-Pérez, D. & Martínez-Torregrosa, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4), 447–455.
- Gil-Pérez, D. & Martínez-Torregrosa, J. (1987). *La resolución de problemas de física. Una didáctica alternativa*. Madrid: MEC.
- Gómez-Crespo, M.A., Pozo, J.I. & Gutiérrez-Julián, M.S. (2004). Enseñando a comprender la naturaleza de la materia: el diálogo entre la química y nuestros sentidos. *Educación Química*, 15(3), 198–209.
- González-Rodríguez, L. & Crujeiras, B. (2016). Aprendizaje de las reacciones químicas a través de actividades de indagación en el laboratorio sobre cuestiones de la vida cotidiana. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(3), 143–160.
- Goodnough, K.C. & Hung, W. (2008). Engaging Teachers' Pedagogical Content Knowledge: Adopting a Nine-Step Problem-Based Learning Model. *The Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 2(2), 61–90.
- Grossman, P.L. (1990). *The Making of a Teacher: Teacher Knowledge and Teacher Education*. New York: Teachers College Press.
- Guisasola, J., Barragués, J.I. & Garmendia, M. (2013). El Máster de Formación Inicial del Profesorado de Secundaria y el conocimiento práctico profesional del futuro profesorado de Ciencias Experimentales, Matemáticas y Tecnología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 568–581.
- Guisasola, J., Ceberio, M. & Zubimendi, J.L. (2006). University Students' Strategies for Constructing Hypothesis when Tackling Paper-and-Pencil Tasks in Physics. *Research in Science Education*, 36(3), 163–186.
- Guisasola, J., Zubimendi, J.L., Almudí, J.M. & Ceberio, M. (2008). Dificultades persistentes en el aprendizaje de la electricidad: Estrategias de razonamiento de los estudiantes al explicar fenómenos de carga eléctrica. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), 177–192.
- Gullberg, A., Kellner, E., Attorps, I., Thorén, I. & Tärneberg, R. (2008). Prospective teachers' initial conceptions about pupils' understanding of science and mathematics. *European Journal of Teacher Education*, 31(3), 257–278.
- Gunstone, R.F. & Northfield, J. (1994). Metacognition and learning to teach. *International Journal of Science Education*, 16(5), 523–537.
- Gutiérrez, J.M. (2011). La Formación Inicial del Profesorado de Secundaria. Del CAP al Máster. *Participación Educativa*, 17, 96–107.
- Gyllenpalm, J., Wickman, P-O. & Holmgren, S-O. (2010). Secondary science teachers' selective traditions and examples of inquiry-oriented approaches. *Nordina*, 6(1), 44–60.
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L. & Black, W.C. (1995). *Multivariate Data Analysis* (4th ed.). New Jersey: Prentice-Hall.
- Hall, W., Palmer, S. & Bennett, M. (2012). A longitudinal evaluation of a project-based learning initiative in an engineering undergraduate programme. *European Journal of Engineering Education*, 37(2), 155–165.
- Hamed, S., Rivero, A. & Martín del Pozo, R. (2016). El cambio en las concepciones de los futuros maestros sobre la metodología de enseñanza en un programa formativo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 476–492.

- Harlen, W., Bell, D., Devés, R., Dyasi, H., Fernández, G., Léna, P., ... Yu, W. (2015). *Working with Big Ideas of Science Education*. Trieste, Italy: Science Education Programme (SEP) of IAP.
- Harris, C.J., Phillips, R.S. & Penuel, W.R. (2012). Examining Teachers' Instructional Moves Aimed at Developing Students' Ideas and Questions in Learner-Centered Science Classrooms. *Journal of Science Teacher Education*, 23(7), 769–788.
- Hashweh, M.Z. (2003). Teacher accomodative change. *Teaching and Teacher Education*, 19(4), 421–434.
- Hatch, J.A. (1999). What preservice teachers can learn from studies of teachers' work. *Teaching and Teacher Education*, 15(3), 229–242.
- Hattie, J. (2009). *Visible Learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. New York: Routledge.
- Helms, J. & Stokes, L. (2013). *A meeting of minds around Pedagogical Content Knowledge: Designing an International PCK Summit for Professional, Community, and Field Development*. Recuperado de: http://www.inverness-research.org/reports/2013-05_Rpt-PCK-Summit-Eval-final_03-2013.pdf
- Hernández, F. (2006). El informe PISA: una oportunidad para replantear el sentido del aprender en la escuela secundaria. *Revista de Educación*, n° extra, 357–379.
- Hernández, M.I., Couso, D. & Pintó, R. (2015). Analyzing Students' Learning Progressions Throughout a Teaching Sequence on Acoustic Properties of Materials with a Model-Based Inquiry Approach. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2), 356–377.
- Herron, M. D. (1971). The Nature of Scientific Inquiry. *The School Review*, 79(2), 171–212.
- Hewson, P.W. (1992). Conceptual change in science teaching and teacher education. En *Investigación y Desarrollo del Currículo en la Enseñanza de las Ciencias*. Madrid: CIDE, MEC.
- Hewson, P.W., Tabachnick, B.R., Zeichner, K.M. & Lemberger, J. (1999). Educating Prospective Teachers of Biology: Findings, Limitations, and Recommendations. *Science Education*, 83(3), 373–384.
- Hmelo-Silver, C.E. (2004). Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266.
- Hmelo-Silver, C.E., Duncan, R.G. & Chinn, C.A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99–107.
- Holt-Reynolds, D. (2000). What does the teacher do? Constructivist pedagogies and prospective teachers' beliefs about the role of a teacher. *Teaching and Teacher Education*, 16(1), 21–32.
- Hume, A. & Berry, A. (2011). Constructing CoRes — a Strategy for Building PCK in Pre-Service Science Teacher Education. *Research in Science Education*, 41(3), 341–355.
- Hung, W. & Loyens, S.M. (2012). Global Development of Problem-based Learning: Adoption, Adaptation, and Advancement. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 6(1), 4–9.
- Ibáñez, M.T. (2003). *Aplicación de una metodología de resolución de problemas como una investigación para el desarrollo de un enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad en el currículo de biología de educación secundaria*. Tesis Doctoral: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/4635/>

- Ibáñez, T. & Martínez-Aznar, M.M. (2005). Solving Problems in Genetics II: Conceptual restructuring. *International Journal of Science Education*, 27(12), 1495–1519.
- Ibáñez, T., & Martínez-Aznar, M.M. (2007). Solving Problems in Genetics, Part III: Change in the view of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 29(6), 747–769.
- Informe-PRIMAS (2013). *Inquiry-based learning in maths and science classes*. Recuperado de: <http://www.primas-project.eu/artikel/en/1247/reports-and-deliverables/view.do>
- İngeç, Ş.K. (2009). Analysing Concept Maps as an Assessment Tool in Teaching Physics and Comparison with the Achievement Tests. *International Journal of Science Education*, 31(14), 1897–1915.
- Ireland, J.E., Watters, J.J., Brownlee, J.L. & Lupton, M. (2014). Approaches to Inquiry Teaching: Elementary teacher's perspectives. *International Journal of Science Education*, 36(10), 1733–1750.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. (2000). Modelos didácticos. En F.J. Perales & P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy: Marfil.
- Jimenez-Aleixandre, M.P., Bugallo, A. & Duschl, R. A. (2000). “Doing the Lesson” or “Doing Science”: Argument in High School Genetics. *Science Education*, 84(6), 757–792.
- Jiménez-Tenorio, N. & Oliva, J.M. (2016b). Aproximación al estudio de las estrategias didácticas en ciencias experimentales en formación inicial del profesorado de Educación Secundaria: descripción de una experiencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 121–136.
- Jiménez-Tenorio, N. & Oliva, J.M. (2016a). Análisis reflexivo de profesores de ciencias de secundaria en formación inicial en torno a diferentes secuencias didácticas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 423–439.
- Johnstone, A.H. (1982). Macro and Microchemistry. *School Science Review*, 64, 377–379.
- Johnstone, A.H. (2006). Chemical education research in Glasgow in perspective. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 49–63.
- Jonassen, D. (2011). Supporting Problem Solving in PBL. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 5(2), 95–119.
- Jonassen, D.H. & Hung, W. (2008). All Problems are Not Equal: Implications for Problem-Based Learning. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 2(2), 6–28.
- Jones, M.T. & Eick, C.J. (2007). Providing Bottom-Up Support to Middle School Science Teachers' Reform Efforts in Using Inquiry-Based Kits. *Journal of Science Teacher Education*, 18(6), 913–934.
- Joshua, S. & Dupin, J.J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris: PUF.
- Joyce, B. & Weil, M. (1985). *Modelos de enseñanza*. Madrid: Anaya.
- Kagan, D.M. (1992). Implication of Research on Teacher Belief. *Educational Psychologist*, 27(1), 65–90.
- Kang, H., Windschitl, M., Stroupe, D. & Thompson, J. (2016). Designing, Launching, and Implementing High Quality Learning Opportunities for Students that Advance Scientific Thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(9), 1316–1340.
- Kang, N-H. & Wallace, C.S. (2005). Secondary Science Teachers' Use of Laboratory Activities: Linking Epistemological Beliefs, Goals, and Practices. *Science Education*, 89(1), 140–165.

- Käpylä, M., Heikkinen, J-P. & Asunta, T. (2009). Influence of Content Knowledge on Pedagogical Content Knowledge: The case of teaching photosynthesis and plant growth. *International Journal of Science Education*, 31(10), 1395–1415.
- Kawalkar, A. & Vijapurkar, J. (2013). Scaffolding Science Talk: The role of teachers' questions in the inquiry classroom. *International Journal of Science Education*, 35(12), 2004–2027.
- Kegan, R. (1994). *In Over Our Heads. The Mental Demands of Modern Life*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Kelly, G.J. (2008). Inquiry, Activity, and Epistemic Practice. En R.A. Duschl & R.E. Grandy (Eds.), *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for Research and Implementation* (pp. 99–117). Rotterdam: Sense Publishers.
- Kelly, G.J., McDonald, S. & Wickman, P-O. (2012). Science Learning and Epistemology. En B.J. Fraser, K.G. Tobin & C.G. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 281–291). Dordrecht: Springer.
- Keselman, A. (2003). Supporting Inquiry Learning by Promoting Normative Understanding of Multivariable Causality. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(9), 898–921.
- Keys, C.W. & Bryan, L.A. (2001). Co-Constructing Inquiry-Based Science with Teachers: Essential Research for Lasting Reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 631–645.
- Khan, S. (2007). Model-Based Inquiries in Chemistry. *Science Education*, 91(6), 877–905.
- Kind, V. (2009). Pedagogical content knowledge in science education: perspectives and potential for progress. *Studies in Science Education*, 45(2), 169–204.
- Kind, V. (2015). On the beauty of knowing then not knowing. Pinning down the elusive qualities of PCK. En A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 178–195). London: Routledge.
- Kirschner, P.A., Sweller, J. & Clark, R.E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.
- Kirschner, S., Taylor, J., Rollnick, M., Borowski, A. & Mavhunga, E. (2015). Gathering evidence for the validity of PCK measures. Connecting ideas to analytic approaches. En A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 229–241). London: Routledge.
- Kolstø, S.D. (2006). Patterns in Students' Argumentation Confronted with a Risk-focused Socio-scientific Issue. *International Journal of Science Education*, 28(14), 1689–1716.
- Korthagen, F.A. & Kessels, J.P. (1999). Linking Theory and Practice: Changing the Pedagogy of Teacher Education. *Educational Researcher*, 28(4), 4–17.
- Kozma, R.B. & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novices responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(9), 949–968.
- Krajcik, J., Codere, S., Dahsah, C., Bayer, R. & Mun, K. (2014). Planning Instruction to Meet the Intent of the Next Generation Science Standards. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 157–175.
- Krulik, S. & Rudnik, K. (1980). *Problem solving in school mathematics*. Reston, Virginia: National Council of Teachers of Mathematics.
- Kuhn, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.

- Lahera, J. & Forteza, A. (2005). *Procesos y Técnicas de Trabajo en Ciencias Físicas*. Madrid: Editorial CCS.
- Lakatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza Editorial.
- Lau, K-C. (2009). A Critical Examination of PISA's Assessment on Scientific Literacy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(6), 1061–1088.
- Laudan, L. (1986). *El progreso y sus problemas. Hacia una teoría del crecimiento científico*. Madrid: Ediciones Encuentro.
- Lawson, A.E. (2000). Managing the Inquiry Classroom: Problems & Solutions. *The American Biology Teacher*, 62(9), 641–648.
- Lazonder, A.W. & Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning: Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, 86(3), 681–718.
- Lederman, N.G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R.L. & Schwartz, R.S. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521.
- Lederman, N.G. (1992). Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science: A Review of the Research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331–359.
- Lehane, L. & Bertram, A. (2016). Getting to the CoRe of it: A review of a specific PCK conceptual lens in science educational research. *Educación Química*, 27(1), 52–58.
- Lemke, J.L. (2006). Investigar para el futuro de la educación científica: nuevas formas de aprender, nuevas formas de vivir. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 5–12.
- Levin, B.B. (2015). The Development of Teachers' Beliefs. En H. Fives & M.G. Gill (Eds.), *International Handbook of Research on Teachers' Beliefs* (pp. 48–65). New York: Routledge.
- Levin, B.B. & He, Y. (2008). Investigating the Content and Sources of Teacher Candidates' Personal Practical Theories (PPTs). *Journal of Teacher Education*, 59(1), 55–68.
- Levin, B.B., He, Y. & Allen, M.H. (2013). Teacher Beliefs in Action: A Cross-Sectional, Longitudinal Follow-Up Study of Teachers' Personal Practical Theories. *The Teacher Educator*, 48(3), 201–217.
- Levitt, K.E. (2002). An Analysis of Elementary Teachers' Beliefs Regarding the Teaching and Learning of Science. *Science Education*, 86(1), 1–22.
- Lijnse, P. & Klaassen, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching-learning sequences. *International Journal of Science Education*, 26(5), 537–554.
- Linn, M.C., Davis, E.A. & Bell, P. (2004). *Internet Environments for Science Education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- López-Lozano, L. & Solís, E. (2016). ¿Para qué, cómo y qué evalúa en ciencia el profesorado de Primaria en formación? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 102–120.
- López-Quintero, J.L., Varo, M., Laguna, A.M. & Pontes, A. (2016). Opinions on “Classroom Response System” by first-year engineering students. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 228, 183–189.
- Lorenzo, J.A., Muñoz, I.M. & Beas, M. (2015). Modelos de formación inicial del profesorado de Educación Secundaria en España desde una perspectiva Europea. *Revista Complutense de Educación*, 26(3), 741–757.

- Loughran, J. (2007). Science Teacher as Learner. En S.K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 1043–1065). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Loughran, J., Mulhall, P. & Berry, A. (2004). In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370–391.
- Loughran, J., Mulhall, P. & Berry, A. (2008). Exploring Pedagogical Content Knowledge in science teacher education. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1301–1320.
- Luft, J. A. & Roehrig, G.H. (2007). Capturing Science Teachers' Epistemological Beliefs: The Development of the Teacher Beliefs Interview. *Electronic Journal of Science Education*, 11(2), 38–63.
- Madsen, A., McKagan, S. B. & Sayre, E.C. (2015). How physics instruction impacts students' beliefs about learning physics: A meta-analysis of 24 studies. *Physical Review, Physics Education Research*, 11(1), 10115.
- Magnusson, S., Krajcik, J. & Borko, H. (1999). Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. En *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education* (pp. 95–132). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Marcelo, C. (1989). *Introducción a la Formación del Profesorado. Teoría y Métodos*. Sevilla: Editorial Universidad de Sevilla.
- Marcelo, C. (1995). *Formación del Profesorado para el Cambio Educativo*. Barcelona: EUB.
- Marcelo, C. (2009). Los comienzos en la docencia: Un profesorado con buenos principios. *Profesorado, Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 13(1), 1–25.
- Marshall, J.C. & Smart, J.B. (2013). Teachers' Transformation to Inquiry-Based Instructional Practice. *Creative Education*, 4(2), 132–142.
- Martín del Pozo, R. (1998). La construcción didáctica del concepto de cambio químico. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 17, 65–75.
- Martín del Pozo, R. (2001). Lo que saben y lo que pretenden enseñar los futuros profesores sobre el cambio químico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 199–215.
- Martín del Pozo, R. & De-Juanas, A. (2013). La valoración de los maestros sobre la utilización didáctica de las ideas de los alumnos. *Revista Complutense de Educación*, 24(2), 267–285.
- Martín del Pozo, R., Fernández-Lozano, P., González-Ballesteros, M. & De-Juanas, A. (2013). El dominio de los contenidos escolares: competencia profesional y formación inicial de maestros. *Revista de Educación*, 360, 363–387.
- Martín del Pozo, R. & Rivero, A. (2001). Construyendo un conocimiento profesionalizado para enseñar ciencias en la Educación Secundaria: Los ámbitos de investigación profesional en la formación inicial del profesorado. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 40, 63–79.
- Martínez-Aznar, M.M. (1990). Perspectivas sobre tipos y resolución de problemas. En R. Porlán & P. Cañal (Eds.), *VII Jornadas de Estudio sobre la Investigación en la Escuela. Cambio educativo y desarrollo profesional* (pp. 38–44). Sevilla: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

- Martínez-Aznar, M.M. (2009). La MRPI: una metodología investigativa para el desarrollo de las competencias científicas escolares en la Educación Primaria. En J. Cervelló (Ed.), *Educación científica "ahora": el informe Rocard* (pp. 47–78). Madrid: Ministerio de Educación, Subdirección General de Información y Publicaciones.
- Martínez-Aznar, M.M. & Bárcena, A.I. (2013). Una actividad de indagación en un aula de diversificación: «¿Es beneficioso masticar bien para realizar una buena digestión?». *Educació Química, EduQ*, 14, 19–28.
- Martínez-Aznar, M.M., Bárcena, A.I., Ibáñez, T. & Varela, P. (2001). Herencia, Biomasa y Energía. Tres campos para investigar resolviendo problemas. *VI Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias* (pp. 133–134), Barcelona, I.C.E. de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- Martínez-Aznar, M.M. & Ibáñez, T. (2005). Solving problems in genetics. *International Journal of Science Education*, 27(1), 101–121.
- Martínez-Aznar, M.M. & Ibáñez, T. (2006). Resolver situaciones problemáticas en genética para modificar las actitudes relacionadas con la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 193–206.
- Martínez-Aznar, M.M., Martín del Pozo, R., Rodrigo, M., Varela, P., Fernández-Lozano, P., & Guerrero, A. (2001). ¿Qué pensamiento profesional y curricular tienen los futuros profesores de ciencias de Secundaria? *Enseñanza de las Ciencias*, 19(1), 67–87.
- Martínez-Aznar, M.M. & Ovejero, P. (1997). Resolver el problema abierto: Teñir lanas a partir de productos colorantes naturales. Una actividad investigativa para la Enseñanza Secundaria Obligatoria. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), 401–422.
- Martínez-Aznar, M.M., Rodríguez-Arteche, I. & Gómez-Lesarri, P. (2017). La resolución de problemas profesionales como referente para la formación inicial del profesorado de física y química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 162–180.
- Martínez-Aznar, M.M. & Varela, P. (1996). De la resolución de problemas al cambio conceptual. *Investigación en la Escuela*, 28, 59–68.
- Martínez-Aznar, M.M. & Varela, P. (2009). La resolución de problemas de energía en la formación inicial de maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(3), 343–360.
- Martínez-Aznar, M.M., Varela, P., Ezquerro, A. & Sotres, F. (2013). Las Unidades Didácticas escolares, basadas en competencias, como eje estructurante de la Didáctica de la Física y Didáctica de la Química para la formación inicial de profesores de secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 616–629.
- Martínez-Chico, M. (2013). *Formación inicial de maestros para la enseñanza de las ciencias. Diseño, implementación y evaluación de una propuesta de enseñanza*. Tesis Doctoral: Universidad de Almería.
- Martínez-Chico, M., Jiménez-Liso, M.R. & López-Gay, R. (2014). La indagación en las propuestas de formación inicial de maestros: análisis de entrevistas a los formadores de Didáctica de las Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 591–608.
- Martínez-Chico, M., Jiménez-Liso, M.R. & López-Gay, R. (2015). Efecto de un programa formativo para enseñar ciencias por indagación basada en modelos, en las concepciones didácticas de los futuros maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 149–166.

- Martínez-Torregrosa, J., Domènech, J.L., Menargues, A. & Romo, G. (2012). La integración de los trabajos prácticos en la enseñanza de la química como investigación dirigida. *Educación Química*, 23(1), 112–126.
- McDonald, C.V. (2010). The Influence of Explicit Nature of Science and Argumentation Instruction on Preservice Primary Teachers' Views of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(9), 1137–1164.
- MEC (1991). *Real Decreto 1345/1991, de 6 de septiembre, por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria*. Recuperado de: http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1991-23242
- MEC (2007). *Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria*. Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-238&b=1&tn=1&p=20070105#preamble>
- MECD (2015a). *Legislación consolidada. Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación*. Recuperado de: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2006-7899>
- MECD (2015b). *Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato*. Recuperado de: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-738
- MECD (2015c). *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. Recuperado de: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-37
- Mellado, V. (1998). The Classroom Practice of Preservice Teachers and Their Conceptions of Teaching and Learning Science. *Science Education*, 82(2), 197–214.
- Mellado, V. (2000). ¿Es adecuada la formación científica del profesorado de ciencias de secundaria para sus necesidades profesionales? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 24, 57–65.
- Mellado, V. (2001). ¿Por qué a los profesores de ciencias nos cuesta tanto cambiar nuestras concepciones y modelos didácticos? *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 40, 17–30.
- Mellado, V. (2003). Cambio didáctico del profesorado de ciencias experimentales y filosofía de la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(3), 343–358.
- Mellado, V., Borrachero, A.B., Brígido, M., Melo, L.V., Dávila, M.A., Cañada, F., ... Bermejo, M.L. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 11–36.
- Melo, L.V., Cañada, F., Mellado, V. & Buitrago, A. (2016). Desarrollo del conocimiento didáctico del contenido en el caso de la enseñanza de la carga eléctrica en Bachillerato desde la práctica de aula. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 459–475.
- Mercer, N. & Fisher, E. (1992). How do teachers help children to learn? An analysis of teachers' interventions in computer-based activities. *Learning and Instruction*, 2(4), 339–355.
- Merino, C. & Izquierdo, M. (2011). Aportes a la modelización según el cambio químico. *Educación Química*, 22(3), 212–223.
- Meyer, X.S. & Crawford, B.A. (2015). Multicultural Inquiry Toward Demystifying Scientific Culture and Learning Science. *Science Education*, 99(4), 617–637.

- Minner, D.D., Levy, A.J. & Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction — What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474–496.
- Moliner, L. & Ortí, J. (2016). ¿Podré acabar el temario?: Las preocupaciones a las que se enfrenta el profesorado novel. *Revista Complutense de Educación*, 27(2), 827–844.
- Monereo, C. & Monte, M. (2011). *Docentes en tránsito: Incidentes críticos en secundaria*. Barcelona: Graó.
- Monereo, C. & Pozo, J.I. (2011). *La identidad en psicología de la educación: Necesidad, utilidad y límites*. Madrid: Narcea.
- Morales, P., Urosa, B. & Blanco, A. (2003). *Construcción de escalas de actitudes “tipo Likert”*: Una guía práctica. Madrid: La Muralla.
- Morine-Dersheimer, G. & Kent, T. (1999). The Complex Nature and Sources of Teachers’ Pedagogical Content Knowledge. En J. Gess-Newsome & N.G. Lederman (Eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge. The Construct and its Implications for Science Education* (pp. 21–50). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Morrison, J.A. & Lederman, N.G. (2003). Science Teachers’ Diagnosis and Understanding of Students’ Preconceptions. *Science Education*, 87(6), 849–867.
- Morrison, J.A., Raab, F. & Ingram, D. (2009). Factors Influencing Elementary and Secondary Teachers’ Views on the Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(4), 384–403.
- Mulholland, J. & Wallace, J. (2005). Growing the Tree of Teacher Knowledge: Ten Years of Learning to Teach Elementary Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(7), 767–790.
- Munby, H. (1989). Reflection-in-action and Reflection-on-action. *Issues in Education*, 9, 31–42.
- Nilsson, P. (2008). Teaching for Understanding: The complex nature of Pedagogical Content Knowledge in pre-service education. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1281–1299.
- Novak, G.M. (2011). Just-in-time teaching. *New Directions for Teaching and Learning*, 128, 63–73.
- Novak, J.D. & Cañas, A.J. (2007). Theoretical Origins of Concept Maps, How to Construct Them, and Uses in Education. *Reflecting Education*, 3(1), 29–42.
- NRC (2012). *A Framework for K-12 Science Education. Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- Nurrenbern, S.C. & Pickering, M. (1987). Concept learning versus problem solving: Is there a difference? *Journal of Chemical Education*, 64(6), 508–510.
- OCDE (2001). *Conocimientos y destrezas para la vida. Primeros resultados del proyecto PISA 2000*. Madrid: MECD. Recuperado de: <http://www.mecd.gob.es/dctm/ievaluacion/internacional/pisa2000-int.pdf?documentId=0901e72b80110720>
- OCDE (2005). *The Definition and Selection of Key Competencies*. Paris. Recuperado de: <http://www.oecd.org/pisa/35070367.pdf>
- OCDE (2006b). *Evolution of Student Interest in Science and Technology Studies*. Recuperado de: <http://www.oecd.org/science/sci-tech/36645825.pdf>

- OCDE (2006a). *PISA 2006: Marco de la Evaluación. Conocimientos y habilidades en Ciencias, Matemáticas y Lectura*. Madrid. Recuperado de: <https://www.oecd.org/pisa/39732471.pdf>
- OCDE (2007). *Pisa 2006: Science competencies for tomorrow's world*. Recuperado de: http://www.oecd-ilibrary.org/education/pisa-2006_9789264040014-en
- OCDE (2013). *PISA 2015. Draft Science Framework*. Recuperado de: <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/pisa2015draftframeworks.htm>
- OCDE (2014). *PISA 2012 Results: Creative Problem Solving. Students' Skills in Tackling Real-Life Problems (Vol. V)*. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264208070-en>
- OCDE (2016). Students' attitudes towards science and expectations of science-related careers. En *PISA 2015 Results (Volume I): Excellence and Equity in Education* (pp. 109–144). Paris: OECD Publishing.
- Olitsky, S. & Milne, C. (2012). Understanding Engagement in Science Education: The Psychological and the Social. En B.J. Fraser, K.G. Tobin & C.J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 19–33). Dordrecht: Springer.
- Oliva, J.M., Aragón, L. & Jiménez-Tenorio, N. (2015). Analogías y progresión del conocimiento del alumnado en la clase de ciencias. *Alambique. Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, 79, 35–44.
- Oliva, J.M. & Aragón, M.M. (2009). Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: Marco teórico. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(2), 195–208.
- Oliveras, B., Márquez, C. & Sanmartí, N. (2013). The Use of Newspaper Articles as a Tool to Develop Critical Thinking in Science Classes. *International Journal of Science Education*, 35(6), 885–905.
- Osborne, J. (2011). Science Teaching Methods: A Rationale for Practices. *School Science Review*, 93(343), 93–103.
- Osborne, J. & Collins, S. (2001). Pupils' views of the role and value of the science curriculum: A focus-group study. *International Journal of Science Education*, 23(5), 441–467.
- Osborne, J. & Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: Critical Reflections*. London. Recuperado de: <http://www.nuffieldfoundation.org/science-education-europe>
- Osborne, R. & Freyberg, P. (1991). *El aprendizaje de las ciencias. Implicaciones de la ciencia de los alumnos*. Madrid: Narcea.
- Padilla, K. & Van Driel, J.H. (2012). Relationships among cognitive and emotional knowledge of teaching quantum chemistry at university level. *Educación Química*, 23(2), 311–326.
- Pajares, M.F. (1992). Teachers' Beliefs and Educational Research: Cleaning up a Messy Construct. *Review of Educational Research*, 62(3), 307–332.
- Pallant, J. (2010). *SPSS Survival Manual: A Step by Step Guide to Data Analysis Using IBM SPSS* (4th ed.). Buckingham: Open University Press.
- Park, S. & Oliver, J.S. (2008). Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education*, 38(3), 261–284.
- Park, S. & Suh, J.K. (2015). From portraying toward assessing PCK. Drivers, dilemmas, and directions for future research. En A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 104–119). London: Routledge.

- Patrick, H. & Pintrich, P.R. (2001). Conceptual Change in Teachers' Intuitive Conceptions of Learning, Motivation, and Instruction: The Role of Motivational and Epistemological Beliefs. En B. Torff & R.J. Sternberg (Eds.), *Understanding and Teaching the Intuitive Mind: Student and Teacher Learning* (pp. 117–143). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Pavón, F. & Martínez-Aznar, M.M. (2014). La metodología de resolución de problemas como investigación (MRPI): una propuesta indagativa para desarrollar la competencia científica en alumnos que cursan un programa de diversificación. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 469–492.
- Pease, M.A. & Kuhn, D. (2011). Experimental Analysis of the Effective Components of Problem-Based Learning. *Science Education*, 95(1), 57–86.
- Pedrinaci, E., Caamaño, A., Cañal, P. & Pro, A. (2012). *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica*. Barcelona: Graó.
- Perales, F.J. (2000). La resolución de problemas. En F.J. Perales & P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las Ciencias Experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 289–306). Alcoy: Marfil.
- Perales, F.J. & Ayerbe, J. (2016). El trabajo por proyectos y por resolución de problemas en Educación Ambiental: análisis y tendencias. En J.L. Bravo (Ed.), *27 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 593–602). Badajoz: Universidad de Extremadura.
- Perales, F.J., Cabo, J.M., Vilchez, J.M., Fernández, M., González, F. & Jiménez-Tejada, P. (2014). La reforma de la formación inicial del profesorado de ciencias de secundaria: propuesta de un diseño del currículo basado en competencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 9–28.
- Pérez-Gómez, A.I. (2007). *La naturaleza de las competencias básicas y sus aplicaciones pedagógicas*. Santander: Consejería de Educación, Gobierno de Cantabria.
- Pérez-Landazábal, M.C. & Varela, P. (2013). El programa PISA de evaluación en ciencias: ¿Qué ocurre con la Física? *Revista Española de Física*, 27(1), 6–11.
- Perrenoud, P. (2001). De la pratique réflexive au travail sur l'habitus. *Recherche & Formation*, 36, 131–162.
- Perrenoud, P. (2004). *Desarrollar la práctica reflexiva en el oficio de enseñar. Profesionalización y razón pedagógica*. Barcelona: Graó.
- Pilitsis, V. & Duncan, R.G. (2012). Changes in Belief Orientations of Preservice Teachers and Their Relation to Inquiry Activities. *Journal of Science Teacher Education*, 23(8), 909–936.
- Pintrich, P.R., Marx, R.W. & Boyle, R.A. (1993). Beyond Cold Conceptual Change: The role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167–199.
- Polya, G. (1945). *How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method*. Princeton University Press.
- Polya, G. (1980). On solving mathematical problems in high school. En S. Krulik & R.E. Reys (Eds.), *Problem solving in school mathematics*. Reston, Virginia: National Council of Teachers of Mathematics.
- Pontes, A. & Poyato, F.J. (2016). Análisis de las concepciones del profesorado de secundaria sobre la enseñanza de las ciencias durante el proceso de formación inicial. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(3), 705–724.

- Pontes, A., Poyato, F.J. & Oliva, J.M. (2015). Concepciones sobre el aprendizaje en estudiantes del Máster de profesorado de educación secundaria del área de ciencia y tecnología. *Profesorado, Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 19(2), 225–243.
- Pontes, A., Poyato, F.J. & Oliva, J.M. (2016). Creencias sobre el aprendizaje de las ciencias de los estudiantes del máster de profesorado de enseñanza secundaria. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 31, 137–163.
- Pontes, A., Serrano, R. & Poyato, F.J. (2013). Concepciones y motivaciones sobre el desarrollo profesional docente en la formación inicial del profesorado de educación secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 533–551.
- Porlán, R., Martín del Pozo, R., Rivero, A., Harres, J., Azcárate, P. & Pizzato, M. (2010). El cambio del profesorado de ciencias I: marco teórico y formativo. *Enseñanza de Las Ciencias*, 28(1), 31–46.
- Porlán, R., Martín del Pozo, R., Rivero, A., Harres, J., Azcárate, P. & Pizzato, M. (2011). El cambio del profesorado de ciencias II: itinerarios de progresión y obstáculos en estudiantes de magisterio. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(3), 353–370.
- Porlán, R. & Rivero, A. (1998). *El conocimiento de los profesores: Una propuesta formativa en el área de ciencias*. Sevilla: Diada Editora.
- Porlán, R., Rivero, A. & Martín del Pozo, R. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: teoría, métodos e instrumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 155–171.
- Porlán, R., Rivero, A. & Martín del Pozo, R. (1998). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores, II: estudios empíricos y conclusiones. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 271–288.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. & Gertzog, W.A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66(2), 211–227.
- Poyato, F.J. (2016). *Concepciones y motivaciones sobre la formación docente en la formación inicial del profesorado de ciencias de enseñanza secundaria*. Tesis Doctoral: Universidad de Córdoba. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10396/13839>
- Pozo, J.I. & Gómez-Crespo, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- Pozo, J.I., Scheuer, N., Mateos, M. & Pérez-Echeverría, M.P. (2006). Las teorías implícitas sobre el aprendizaje y la enseñanza. En J.I. Pozo et al. (Eds.), *Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje. Las concepciones de profesores y alumnos*. Barcelona: Graó.
- Prince, M.J. & Felder, R.M. (2006). Inductive Teaching and Learning Methods: Definitions, Comparisons, and Research Bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123–138.
- Prince, M. J. & Felder, R.M. (2007). The Many Faces of Inductive Teaching and Learning. *Journal of College Science Teaching*, 36(5), 14–20.
- Pro, A. (2011). Aprender y enseñar con experiencias... y ahora para desarrollar competencias. *Investigación en la Escuela*, 74, 5–21.
- Puente, J. (2008). PISA 2006: resultados españoles en ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 57, 12–22.
- Putnam, R.T. & Borko, H. (1997). Teacher Learning: Implications of New Views of Cognition. En B.J. Biddle, T.L. Good & I.F. Goodson (Eds.), *International Handbook of Teachers and Teaching* (pp. 1223–1296). Dordrecht: Springer.

- Quintanilla, M., Joglar, C., Jara, R., Camacho, J., Ravanal, E., Labarrere, A., ... Chamizo, J. (2010). Resolución de problemas científicos escolares y promoción de competencias de pensamiento científico. ¿Qué piensan los docentes de química en ejercicio? *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 185–198.
- Ramírez, J.L., Gil-Pérez, D. & Martínez-Torregrosa, J. (1994). *La Resolución de problemas de física y de química como investigación*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia.
- Ratcliffe, M. & Millar, R. (2009). Teaching for Understanding of Science in Context: Evidence from the Pilot Trials of the “Twenty First Century Science” Courses. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(8), 945–959.
- Raviolo, A. & Martínez-Aznar, M.M. (2003). Una revisión sobre las concepciones alternativas de los estudiantes en relación con el equilibrio químico. Clasificación y síntesis de sugerencias didácticas. *Educación Química*, 14(3), 159–165.
- Raviolo, A. & Martínez-Aznar, M.M. (2005). El origen de las dificultades y de las concepciones alternativas de los alumnos en relación con el equilibrio químico. *Educación Química*, 16, 159–166.
- Reid, N. & Yang, M-J. (2002). Open-ended problem solving in school chemistry: A preliminary investigation. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1313–1332.
- Reiser, B.J. (2004). Scaffolding Complex Learning: The Mechanisms of Structuring and Problematising Student Work. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 273–304.
- Richardson, V. (2003). Preservice Teachers’ Beliefs. En J. Raths & A.C. McAninch (Eds.), *Teacher Beliefs and Classroom Performance: The Impact of Teacher Education* (pp. 1–22). Greenwich, Connecticut: Information Age Publishing.
- Rivadulla, J.C., García-Barros, S. & Martínez-Losada, C. (2016). Los mapas conceptuales como instrumento para analizar las ideas de los estudiantes de Maestro de Educación Primaria sobre qué enseñar de nutrición humana en Educación Primaria. *Revista Complutense de Educación*, 27(3), 1247–1269.
- Rivarosa, A.S. & Astudillo, C.S. (2013). Las prácticas científicas y la cultura: una reflexión necesaria para un educador de ciencias. *Revista CTS*, 23, 45–66.
- Rivero, A., Azcárate, P., Porlán, R., Martín del Pozo, R. & Harres, J. (2011). The Progression of Prospective Primary Teachers’ Conceptions of the Methodology of Teaching. *Research in Science Education*, 41(5), 739–769.
- Rivero, A., Martín del Pozo, R., Solís, E., Azcárate, P. & Porlán, R. (2017). Cambio del conocimiento sobre la enseñanza de las ciencias de futuros maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(1), 29–52.
- Rivero, A., Martínez-Aznar, M.M., Pontes, A. & Oliva, J.M. (2014). ¿Qué estamos enseñando y qué deberíamos enseñar desde la didáctica de las ciencias en la formación inicial del profesorado de secundaria? En M.A. de las Heras et al. (Eds.), *Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante* (pp. 1075–1088). Huelva: SP-UHU. Recuperado de: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/40841>
- Rocard, M., Csermely, P., Jarde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. & Hemmo, V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Brussels. Recuperado de: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf
- Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (2016a). Introducing Inquiry-Based Methodologies during Initial Secondary Education Teacher Training Using an Open-Ended Problem about Chemical Change. *Journal of Chemical Education*, 93(9), 1528–1535.

- Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (2016b). Open-ended problem solving in chemistry during initial secondary education teacher training. *International Journal of Learning and Teaching*, 8(3), 174–186.
- Rodríguez-Arteche, I. & Martínez-Aznar, M.M. (2016c). Indagación y modelos didácticos: La reflexión de cuatro profesores de física y química en formación inicial. *Campo Abierto*, 35(1), 145–160.
- Rodríguez-Arteche, I., Martínez-Aznar, M.M. & Garitagoitia, A. (2016). La competencia sobre planificación de investigaciones en 4º de ESO: un estudio de caso. *Revista Complutense de Educación*, 27(1), 329–351.
- Rodríguez-Mora, F. & Blanco, A. (2016). Diseño y análisis de tareas de evaluación de competencias científicas en una unidad didáctica sobre el consumo de agua embotellada para educación secundaria obligatoria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 279–300.
- Roehrig, G.H., Kruse, R. A. & Kern, A. (2007). Teacher and School Characteristics and Their Influence on Curriculum Implementation. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 883–907.
- Roehrig, G.H. & Luft, J.A. (2004). Inquiry Teaching in High School Chemistry Classrooms: The Role of Knowledge and Beliefs. *Journal of Chemical Education*, 81(10), 1510–1516.
- Roesch, F., Nerb, J. & Riess, W. (2015). Promoting Experimental Problem-solving Ability in Sixth-grade Students Through Problem-oriented Teaching of Ecology: Findings of an intervention study in a complex domain. *International Journal of Science Education*, 37(4), 577–598.
- Romero-Álvarez, J.G., Rodríguez-Castillo, A. & Gómez-Pérez, J. (2008). Evaluación de escenarios para el aprendizaje basado en problemas (ABP) en la asignatura de química de bachillerato. *Educación Química*, 19(3), 195–200.
- Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 286–299.
- Rosa, D. (2016). *Desarrollo de una propuesta didáctica sobre contenidos de ecología en 2º de ESO a partir de situaciones problemáticas abiertas*. Tesis Doctoral: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/40345/>
- Rosa, D. & Martínez-Aznar, M.M. (2014). La competencia científica en 1º de Bachillerato a través de la resolución de una situación problemática de geología. En M.A. de las Heras et al. (Eds.), *Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante*. Huelva: SP-UHU. Recuperado de: [http://www.uhu.es/26edce/actas/docs/comunicaciones/orales/pdf/004.1-Rosa-Novalbos-\(bis\).pdf](http://www.uhu.es/26edce/actas/docs/comunicaciones/orales/pdf/004.1-Rosa-Novalbos-(bis).pdf)
- Rosa, D. & Martínez-Aznar, M.M. (2016). El trabajo cooperativo con las TIC para el tratamiento de contenidos de biología con alumnos de 14-15 años. *Journal of Science Education*, 17(2), 69–74.
- Roth, W-M. & Tobin, K. (2001). Learning to teach science as practice. *Teaching and Teacher Education*, 17(6), 741–762.
- Sánchez-Blanco, G., Pro, A. & Valcárcel, M.V. (1997). La utilización de un modelo de planificación de Unidades Didácticas: el estudio de las disoluciones en la Educación Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(1), 35–50.
- Sánchez-Blanco, G. & Valcárcel, M.V. (1993). Diseño de Unidades Didácticas en el área de ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 35–44.

- Sandoval, W.A. (2005). Understanding Students' Practical Epistemologies and Their Influence on Learning Through Inquiry. *Science Education*, 89(4), 634–656.
- Sandoval, W.A. & Reiser, B.J. (2004). Explanation-Driven Inquiry: Integrating Conceptual and Epistemic Scaffolds for Scientific Inquiry. *Science Education*, 88(3), 345–372.
- Sanmartí, N. (2002). *Didáctica de las Ciencias en la Educación Secundaria Obligatoria*. Madrid: Síntesis Educación.
- Sanmartí, N. (2003). Evaluación externa: ¿por qué y para qué? *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 37, 9–18.
- Savery, J.R. (2006). Overview of Problem-based Learning: Definitions and Distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1), 9–20.
- Schneider, R.M. (2015). Pedagogical Content Knowledge reconsidered. A teacher educator's perspective. En A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 162–177). London: Routledge.
- Schön, D.A. (1983). *The Reflective Practitioner. How Professionals Think in Action*. New York: Basic Books.
- Schraw, G., Crippen, K.J. & Hartley, K. (2006). Promoting Self-Regulation in Science Education: Metacognition as Part of a Broader Perspective on Learning. *Research in Science Education*, 36(1), 111–139.
- Schwab, J.J. (1962). *The Teaching of Science as Enquiry*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Schwarz, C. V., Reiser, B.J., Davis, E.A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., ... Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654.
- Sevian, H. & Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: A learning progression on chemical thinking. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 10–23.
- Shoffner, M. (2009). The place of the personal: Exploring the affective domain through reflection in teacher preparation. *Teaching and Teacher Education*, 25(6), 783–789.
- Shulman, L.S. (1986). Those Who understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Shulman, L.S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1–22.
- Siddiquee, M. N. & Ikeda, H. (2013). Science Teachers' Beliefs on Teaching and Learning at Secondary Schools in Bangladesh. *GSE Journal of Education*, 37–63.
- Simarro, C., Couso, D. & Pintó, R. (2013). Indagació basada en la modelització: un marc per al treball pràctic. *Ciències*, 25, 35–43.
- Simon, H. (1978). La teoría del procesamiento de la información sobre la resolución de problemas. En M. Carretero & J. García (Eds.), *Lecturas de psicología del pensamiento* (pp. 197–220). Madrid: Alianza Editorial.
- Smith, P.S. & Banilower, E.R. (2015). Assessing PCK. A new application of the uncertainty principle. En A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Eds.), *Re-examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 88–103). London: Routledge.
- Solbes, J. & Gavidia, V. (2013). Análisis de las Especialidades de Física y Química y de Biología y Geología del máster de profesorado de educación secundaria de la Universidad de Valencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 582–593.

- Solbes, J. & Vilches, A. (1997). STS Interactions and the Teaching of Physics and Chemistry. *Science Education*, 81(4), 377–386.
- Solis, E. (2005). *Concepciones curriculares del profesorado de física y química en formación inicial*. Tesis Doctoral: Universidad de Sevilla. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11441/15677>
- Solis, E., Martín del Pozo, R., Rivero, A. & Porlán, R. (2013). Expectativas y concepciones de los estudiantes del MAES en la especialidad de Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 496–513.
- Solis, E., Porlán, R. & Rivero, A. (2012). ¿Cómo representar el conocimiento curricular de los profesores de ciencias y su evolución? *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 9–30.
- Solis, E., Rivero, A. & Martín del Pozo, R. (2009). La presencia y el papel del activismo en las concepciones del Profesorado de Ciencias de Secundaria en Formación Inicial. *Investigación en la Escuela*, 67, 37–49.
- Somekh, B., Burman, E., Delamont, S., Meyer, J., Payne, M. & Thorpe, R. (2011). Research in the Social Sciences. En B. Somekh & C. Lewin (Eds.), *Theory and Methods in Social Research* (2nd ed., pp. 2–15). London: SAGE.
- Stage, E.K., Asturias, H., Cheuk, T., Daro, P.A. & Hampton, S. B. (2013). Opportunities and Challenges in Next Generation Standards. *Science*, 340, 276–277.
- Strobel, J. & Van Barneveld, A. (2009). When is PBL More Effective? A Metasynthesis of Meta-analyses Comparing PBL to Conventional Classrooms. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 3(1), 44–58.
- Suh, J.K., & Park, S. (2017). Exploring the relationship between pedagogical content knowledge (PCK) and sustainability of an innovative science teaching approach. *Teaching and Teacher Education*, 64, 246–259.
- Taconis, R., Ferguson-Hessler, M.G.M. & Broekkamp, H. (2001). Teaching Science Problem Solving: An Overview of Experimental work. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(4), 442–468.
- Tal, R.T., Dori, Y.J., Keiny, S. & Zoller, U. (2001). Assessing conceptual change of teachers involved in STES education and curriculum development—the STEMS project approach. *International Journal of Science Education*, 23(3), 247–262.
- Tobin, K. & Ritchie, S.M. (2012). Multi-Method, Multi-Theoretical, Multi-Level Research in the Learning Sciences. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 21(1), 117–129.
- Toulmin, S.E. (1977). *La comprensión humana (tomo I): El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Universidad.
- Tuan, H-L., Chin, C-C., Tsai, C-C. & Cheng, S-F. (2005). Investigating the Effectiveness of Inquiry Instruction on the Motivation of Different Learning Styles Students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3(4), 541–566.
- Tyson, L.M., Venville, G.J., Harrison, A.G. & Treagust, D.F. (1997). A Multidimensional Framework for Interpreting Conceptual Change Events in the Classroom. *Science Education*, 81(4), 387–404.
- UE (2006). *Recomendación del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de diciembre de 2006 sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente*. Brussels. Recuperado de: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX:32006H0962>
- Valbuena, E.O. (2007). El Conocimiento Didáctico del Contenido Biológico: Estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de futuros docentes de la Universidad Pedagógica

- Nacional (Colombia). Tesis Doctoral: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/7731/1/T30032.pdf>
- Valcárcel, M.V. & Sánchez-Blanco, G. (2000). La formación del profesorado en ejercicio. En F.J. Perales & P. Cañal (Eds.), *Didáctica de las ciencias experimentales: teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias* (pp. 557–582). Alcoy: Marfil.
- Van de Pol, J., Volman, M. & Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in Teacher–Student Interaction: A Decade of Research. *Educational Psychology Review*, 22(3), 271–296.
- Van der Valk, T. & de Jong, O. (2009). Scaffolding Science Teachers in Open-inquiry Teaching. *International Journal of Science Education*, 31(6), 829–850.
- Van Driel, J.H. & Berry, A. (2012). Teacher Professional Development Focusing on Pedagogical Content Knowledge. *Educational Researcher*, 41(1), 26–28.
- Van Driel, J.H., Bulte, A.M.W. & Verloop, N. (2007). The relationships between teachers' general beliefs about teaching and learning and their domain specific curricular beliefs. *Learning and Instruction*, 17(2), 156–171.
- Van Driel, J.H., De Jong, O. & Verloop, N. (2002). The Development of Preservice Chemistry Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Science Education*, 86(4), 572–590.
- Van Manen, M. (1977). Linking Ways of Knowing with Ways of Being Practical. *Curriculum Inquiry*, 6(3), 205–228.
- Varela, P. (1994). *La resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias. Aspectos didácticos y cognitivos*. Tesis Doctoral: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de: <http://eprints.ucm.es/2240/>
- Varela, P. & Martínez-Aznar, M.M. (1997a). Una estrategia de cambio conceptual en la enseñanza de la física: la resolución de problemas como actividad de investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 173–188.
- Varela, P. & Martínez-Aznar, M.M. (1997b). Investigar y aprender resolviendo problemas abiertos de física. *Revista Española de Física*, 11(2), 32–37.
- Vázquez-Bernal, B. & Jiménez-Pérez, R. (2013). Un modelo de innovación en el Practicum de Secundaria: la inmersión dentro de un grupo de investigación-acción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 709–727.
- Vázquez-Bernal, B., Jiménez-Pérez, R. & Mellado, V. (2007a). El desarrollo profesional del profesorado de ciencias como integración de la reflexión y la práctica. La hipótesis de la complejidad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(3), 372–393.
- Vázquez-Bernal, B., Jiménez-Pérez, R. & Mellado, V. (2007b). La reflexión en profesoras de ciencias experimentales de enseñanza secundaria. Estudio de casos. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(1), 73–90.
- Vázquez-Bernal, B., Jiménez-Pérez, R. & Mellado, V. (2010). Los obstáculos para el desarrollo profesional de una profesora de enseñanza secundaria en ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 417–432.
- Vázquez-Bernal, B., Mellado, V., Jiménez-Pérez, R. & Martos, M. (2013). La evaluación como objeto de investigación. El caso de una profesora de química de enseñanza secundaria. *Educación Química*, 24(3), 335–342.
- Vázquez-Bernal, B., Mellado, V., Jiménez-Pérez, R. & Taboada, M.C. (2012). The Process of Change in a Science Teacher's Professional Development: A Case Study Based on the Types of Problems in the Classroom. *Science Education*, 96(2), 337–363.

- Vázquez, A., Acevedo, J.A. & Manassero, M.A. (2005). Más allá de la enseñanza de las ciencias para científicos: hacia una educación científica humanística. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), 211–240.
- Vázquez, A., García-Carmona, A., Manassero, M.A. & Bennassar, A. (2013). Science Teachers' Thinking About the Nature of Science: A New Methodological Approach to its Assessment. *Research in Science Education*, 43(2), 781–808.
- Vázquez, A. & Manassero, M.A. (2013). La comprensión de un aspecto de la naturaleza de ciencia y tecnología: Una experiencia innovadora para profesores en formación inicial. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 630–648.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 205–221.
- Viennot, L. (2011). Els molts reptes d'un ensenyament de les Ciències basat en la indagació: ens aportaran múltiples beneficis en l'aprenentatge? *Ciències*, 18, 22–36.
- Vila, N. (1999). *Eficacia de la técnica MDS en la medición del posicionamiento: una aplicación en los servicios*. Tesis Doctoral: Universitat de València.
- Vilches, A. & Gil-Pérez, D. (2010). Máster de Formación Inicial del Profesorado de Enseñanza Secundaria. Algunos análisis y propuestas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(3), 661–666.
- Vilches, A. & Gil-Pérez, D. (2013). Creating a Sustainable Future: Some Philosophical and Educational Considerations for Chemistry Teaching. *Science & Education*, 22(7), 1857–1872.
- Vílchez, J.M. & Bravo-Torija, B. (2015). Percepción del profesorado de ciencias de educación primaria en formación acerca de las etapas y acciones necesarias para realizar una indagación escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(1), 185–202.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45–69.
- Wahbeh, N. & Abd-El-Khalick, F. (2014). Revisiting the Translation of Nature of Science Understandings into Instructional Practice: Teachers' nature of science pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education*, 36(3), 425–466.
- Walker, R. (2002). Case Study, Case Records and Multimedia. *Cambridge Journal of Education*, 32(1), 109–127.
- Wamba, A.M. (2001). *Modelos didácticos personales y obstáculos para el desarrollo profesional: estudios de caso con profesores de Ciencias Experimentales en Educación Secundaria*. Tesis Doctoral: Universidad de Huelva.
- Wang, H-H., Moore, T.J., Roehrig, G.H. & Park, M.S. (2011). STEM Integration: Teacher Perceptions and Practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 1(2), 1–13.
- Wang, M-T. & Degol, J.L. (2017). Gender Gap in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM): Current Knowledge, Implications for Practice, Policy, and Future Directions. *Educational Psychology Review*, 29(1), 119–140.
- Watts, M. (1994). *Problem Solving in Science and Technology: Extending Good Classroom Practice*. London: David Fulton Publishers.
- Weaver, G.C., Russell, C.B. & Wink, D.J. (2008). Inquiry-based and research-based laboratory pedagogies in undergraduate science. *Nature Chemical Biology*, 4(10), 577–580.
- Wheeler, L.B. & Bell, R.L. (2012). Open-Ended Inquiry: Practical ways of implementing inquiry in the chemistry classroom. *The Science Teacher*, 79(6), 32–39.

- Wheeler, L.B., Bell, R.L., Whitworth, B.A. & Maeng, J.L. (2015). The Science ELF: Assessing the enquiry levels framework as a heuristic for professional development. *International Journal of Science Education*, 37(1), 55–81.
- Wideen, M., Mayer-Smith, J. & Moon, B. (1998). A Critical Analysis of the Research on Learning to Teach: Making the Case for an Ecological Perspective on Inquiry. *Review of Educational Research*, 68(2), 130–178.
- Williams, J. & Lockley, J. (2012). Using CoRes to Develop the Pedagogical Content Knowledge (PCK) of Early Career Science and Technology Teachers. *Journal of Technology Education*, 24(1), 34–53.
- Windschitl, M. (2003). Inquiry Projects in Science Teacher Education: What Can Investigative Experiences Reveal about Teacher Thinking and Eventual Classroom Practice? *Science Education*, 87(1), 112–143.
- Windschitl, M. & Thompson, J. (2006). Transcending Simple Forms of School Science Investigation: The Impact of Preservice Instruction on Teachers' Understandings of Model-Based Inquiry. *American Educational Research Journal*, 43(4), 783–835.
- Windschitl, M., Thompson, J. & Braaten, M. (2008). Beyond the Scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967.
- Wong, K.K.H. & Day, J.R. (2008). A Comparative Study of Problem-Based and Lecture-Based Learning in Junior Secondary School Science. *Research in Science Education*, 39(5), 625–642.
- Woolley, S.L., Benjamin, W-J. & Woolley, A.W. (2004). Construct Validity of a Self-Report Measure of Teacher Beliefs Related to Constructivist and Traditional Approaches to Teaching and Learning. *Educational and Psychological Measurement*, 64(2), 319–331.
- Yin, R.K. (1994). *Case Study Research: Design and Methods*. California: SAGE.
- Yore, L.D. & Treagust, D.F. (2006). Current Realities and Future Possibilities: Language and science literacy—empowering research and informing instruction. *International Journal of Science Education*, 28(2–3), 291–314.
- Yus, R., Fernández, M., Gallardo, M., Barquín, J., Sepúlveda, M.P. & Serván, M.J. (2013). La competencia científica y su evaluación. Análisis de las pruebas estandarizadas de PISA. *Revista de Educación*, 360, 557–576.
- Zeidler, D. L. (2002). Dancing with Maggots and Saints: Visions for Subject Matter Knowledge, Pedagogical Knowledge, and Pedagogical Content Knowledge in Science Teacher Education Reform. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 27–42.
- Zemal-Saul, C., Blumenfeld, P. & Krajcik, J. (2000). Influence of Guided Cycles of Planning, Teaching, and Reflection on Prospective Elementary Teachers' Science Content Representations. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(4), 318–339.
- Zimmerman, B.J. (2013). From Cognitive Modeling to Self-Regulation: A Social Cognitive Career Path. *Educational Psychologist*, 48(3), 135–147.

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1

Cuestionario sobre «Pensamiento Curricular y Profesional»

Se presentan las declaraciones del instrumento y las *dimensiones* del pensamiento docente a las que hacen referencia. Como se comenta en el texto, la fuente fundamental para elaborar el cuestionario ha sido el trabajo de Martínez-Aznar et al. (2001).

Las proposiciones, vinculadas a un modelo didáctico *tradicional* o a un modelo *constructivista*, deben valorarse en una escala de Likert del 1 (totalmente en desacuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo).

Las cuestiones, que aquí se muestran ordenadas para su mejor consulta, en las encuestas estaban distribuidas al azar.

Dimensión de <i>Contenidos</i> *
1. El conocimiento científico es la forma de pensamiento objetiva y correcta. (MT) 2. Los contenidos escolares son una forma peculiar de conocimiento, distinta al conocimiento científico y al conocimiento ordinario. (MC) 3. Los contenidos escolares de física y química deben ser próximos al conocimiento científico. (MT) 4. Las ideas de los alumnos sobre los conceptos de ciencias son un conocimiento alternativo con el que hay que trabajar en clase. (MC) 5. Las ideas de los alumnos sobre los conceptos de ciencias son errores que el profesor debe eliminar. (MT)
Dimensión de <i>Metodología – desarrollo de la enseñanza</i>
6. El profesor tiene que explicar los conceptos, leyes, hechos, etc., para que los estudiantes los aprendan. (MT) 7. El profesor tiene la función de transmitir el conocimiento científico elaborado a lo largo de los siglos. (MT) 8. El profesor debe ayudar a los escolares en la construcción de sus propios conocimientos. (MC) 9. Cada tema debería explicarse siguiendo un libro de texto o apuntes claros. (MT) 10. Las actividades experimentales en física y química deben utilizarse como aplicación de los conocimientos explicados. (MT) 11. El trabajo de laboratorio debe ser dirigido mediante guiones o procedimientos de resolución. (MT)
Dimensión de <i>Metodología – participación y adaptación al alumno</i>
12. Los alumnos deberían participar en el desarrollo de la enseñanza. (MC) 13. El trabajo más productivo para los alumnos es el individual. (MT) 14. Trabajar en clase por proyectos o pequeñas investigaciones requiere mucho tiempo para el rendimiento que obtienen los escolares. (MT)

15. El profesor debería revisar su método de enseñanza si éste fuera cuestionado por el alumnado. (MC)
16. Tener en cuenta la diversidad de los alumnos a la hora de impartir las materias de ciencias perjudica a los alumnos más capacitados. (MT)
17. La adaptación de la enseñanza a la diversidad del aula reduce el nivel de los conocimientos en las materias de ciencias. (MT)
<i>Dimensión de Evaluación</i>
18. Uno de los objetivos más importantes de la evaluación es conseguir que cada alumno sea consciente de sus dificultades. (MC)
19. Si no hubiera exámenes los alumnos no estudiarían. (MT)
20. Es imprescindible resaltar la evaluación de las actitudes en la nota final de las asignaturas de física y química. (MC)
21. En nuestras aulas no es posible hacer un seguimiento diario e individual de cada alumno. (MT)
<i>Dimensión de Percepción profesional – del rendimiento escolar</i>
22. El éxito o fracaso de los alumnos depende básicamente de sus características personales (motivación, inteligencia...). (MT)
23. La procedencia socioeconómica de los alumnos es la principal razón de su rendimiento escolar. (MT)
24. El mayor fracaso de los alumnos en las asignaturas de ciencias se debe fundamentalmente a que en su enseñanza se utilizan métodos inadecuados. (MC)
25. Un profesor de ciencias dispone de recursos suficientes para hacer rendir adecuadamente a los alumnos, con independencia de la extracción social o características personales de éstos. (MC)
26. La personalidad y las actitudes del profesor de ciencias tienen menor incidencia en el rendimiento de los alumnos que sus conocimientos científicos y didácticos. (MT)
<i>Dimensión de Percepción profesional – de la formación del profesor</i>
27. El profesorado de enseñanza secundaria necesita una formación psicopedagógica suplementaria a su formación científica para desempeñar su función. (MC)
28. La formación científica recibida en la Universidad (Grado/Licenciatura/Ingeniería) es suficiente para desempeñar la labor docente en la enseñanza secundaria. (MT)
29. Un profesor de física y química debe tener una cultura general amplia (filosofía, historia, literatura, música, etc.). (MC)
30. Para ser profesor de física y química habría que ser graduado/licenciado en estas materias. (MT)

* MT: proposición vinculada al modelo tradicional

* MC: proposición vinculada al modelo constructivista

Anexo 2

Plantilla para la resolución de problemas abiertos escolares

Se presenta la plantilla proporcionada a los estudiantes del Máster para la resolución de problemas abiertos sobre química escolar (Martínez-Aznar, 2009). Se vincula a la «Metodología de Resolución de Problemas como Investigación» –MRPI– (Gil-Pérez & Martínez-Torregrosa, 1983) y proporciona una *secuencia orientadora* para abordar las actividades indagativas. Por ello, este documento no debe entenderse como un conjunto de pasos de seguimiento consecutivo y rígido.

Como aspectos a destacar estarían la interrelación entre las fases de la MRPI y la importancia del análisis cualitativo y la emisión de hipótesis iniciales, como “referentes” a lo largo de los problemas y elementos para favorecer la construcción de conocimientos.

MODELO INVESTIGATIVO PARA LA RESOLUCIÓN DE SITUACIONES PROBLEMÁTICAS (MRPI)

REPRESENTACIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

1. Análisis cualitativo de la situación problemática

Comprensión y representación de la situación (marco teórico de referencia)

Reformulación del problema en términos operativos

Restricción de condiciones

2. Emisión de hipótesis

Emisión de hipótesis acerca de los factores que puedan determinar la magnitud buscada

RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3. Diseño de la experimentación y/o estrategia de resolución

Identificación y control de variables

Determinación de las magnitudes a medir, de los datos, materiales y aparatos requeridos para la solución de la situación problemática

Representación gráfica o esquemática del diseño

Posible establecimiento de analogías con situaciones tratadas anteriormente

Toma de decisiones para la resolución del problema

4. Desarrollo de la experimentación y/o resolución del problema

Llevar a cabo el diseño

Descripción del proceso seguido: las observaciones, las medidas, el registro de datos, etc.

ANÁLISIS DEL PROBLEMA

5. Análisis de resultados

Búsqueda de regularidades en los datos

Interpretación de resultados a la luz de las hipótesis y del marco teórico utilizado

Obtención de resultados numéricos, comprobación de unidades, análisis de los órdenes de magnitud, etc.

Anexo 3**Guion de la entrevista semiestructurada a los futuros profesores**

Se presentan las cuestiones que sirven como guía en el transcurso de las entrevistas. Dependiendo de su desarrollo, el entrevistador ajusta el orden de las preguntas y solicita la concreción de aquellos aspectos considerados relevantes para la investigación.

1. Desde el punto de vista de futuro profesor, ¿qué ventajas, desventajas, potencialidades, posibilidades de aplicación le ves a la MRPI, la metodología indagativa trabajada en las asignaturas de didáctica?
2. ¿Cómo relacionas la MRPI con el aprendizaje de conocimientos, capacidades y actitudes?
3. ¿Cómo crees que sería la acogida de la MRPI por parte del alumnado de Educación Secundaria?
4. En las asignaturas se han ejemplificado Unidades Didácticas basadas en la resolución de secuencias de problemas abiertos, en grupos cooperativos. ¿Cómo valoras la implementación de este tipo de propuestas en Secundaria?
5. ¿Crees que la MRPI es transferible a otros contextos distintos a los ejemplificados (otras asignaturas, problemas de “lápiz y papel”...)?
6. ¿Qué opinión te merece el que no se utilicen *guiones* en las actividades experimentales?
7. ¿Cómo explicarías el *papel del profesor* durante la MRPI?
8. Supón que tienes que desarrollar en el aula una parte del currículo de física y química. ¿Cómo lo harías? ¿Cómo describirías tu trabajo y el de tus alumnos?
9. Si tuvieras que implementar la MRPI en el aula, ¿te sentirías cómodo?
10. En definitiva, ¿qué papel crees que va a tener la MRPI en tu futuro profesional?

Anexo 4**Cuestionario de «Visión sobre la Aplicabilidad de la MRPI»**

Para indagar sobre cómo perciben los futuros profesores la transferencia de la MRPI a Educación Secundaria, se utiliza el cuestionario mostrado a continuación. Este instrumento se ha adaptado a partir de las versiones utilizadas en los estudios de tesis de Varela (1994), Ibáñez (2003), Bárcena, (2015) y Rosa (2016).

Estas cuestiones se clasifican en las dimensiones de «alumno», «currículo», «profesor» y «transposición» de la MRPI a otros contextos. Las proposiciones, que aquí se recogen ordenadas para facilitar su lectura, en las encuestas estaban distribuidas al azar.

EN RELACIÓN A LOS ESCOLARES DE EDUCACIÓN SECUNDARIA...	
Dimensión sobre el ALUMNO	1. La MRPI puede resultar una tarea... Aburrida 1 2 3 4 5 Interesante
	2. La MRPI puede resultar una tarea... Difícil 1 2 3 4 5 Fácil
	3. La MRPI es adecuada para afrontar problemas de motivación del alumnado... Poco 1 2 3 4 5 Mucho
	4. Con las estrategias de resolución de problemas de la MRPI, el alumnado se sentirá más capacitado para intentar resolver otros problemas que en principio le resulten desconocidos... Poco 1 2 3 4 5 Mucho
	5. El trabajo habitual con la MRPI aumentará la autoconfianza del alumnado para resolver problemas... Poco 1 2 3 4 5 Mucho
Dimensión sobre el CURRÍCULO	6. La MRPI ayuda a aprender conceptos de química... Poco 1 2 3 4 5 Mucho
	7. La MRPI ayuda en la familiarización con procedimientos científicos de trabajo... Poco 1 2 3 4 5 Mucho
	8. La MRPI ayuda a resolver problemas cerrados (del tipo de los que aparecen en los libros de texto... Poco 1 2 3 4 5 Mucho
	9. El trabajo habitual con la MRPI abre nuevas perspectivas e interés sobre qué es la química o las ciencias en general... Poco 1 2 3 4 5 Mucho

Dimensión sobre el PROFESOR	10. El papel del profesor durante la resolución de problemas abiertos mediante la MRPI es...
	Poco relevante 1 2 3 4 5 Muy relevante
Dimensión sobre la TRANSPOSICIÓN a contextos diferentes	11. El tipo de metodología propuesta en Didáctica de la Química sobre la resolución de problemas abiertos mediante la MRPI es...
	Inadecuada 1 2 3 4 5 Adecuada
Dimensión sobre la TRANSPOSICIÓN a contextos diferentes	12. La forma de resolver problemas abiertos de química con la MRPI ayudará al alumnado a resolver situaciones de su vida cotidiana (salud, consumo, familia, etc.)...
	Poco 1 2 3 4 5 Mucho
	13. Los procedimientos de trabajo de la MRPI serán útiles para la resolución de problemas experimentales de otras materias (física, biología, etc.)...
	Poco 1 2 3 4 5 Mucho
Dimensión sobre la TRANSPOSICIÓN a contextos diferentes	14. Los procedimientos de trabajo de la MRPI serán útiles para la resolución de problemas de “lápiz y papel” (en química, física, matemáticas, etc.)...
	Poco 1 2 3 4 5 Mucho

RESUMEN

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE EDUCACIÓN

CENTRO DE FORMACIÓN DEL PROFESORADO

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales



TESIS DOCTORAL

Propuesta formativa de Didáctica de la Química: las actividades indagativas para la Educación Secundaria como problema profesional

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

Presentada por

Iñigo Rodríguez Arteche

Directora

María Mercedes Martínez Aznar

Madrid, 2017

RESUMEN DE LA TESIS

1. Marco teórico

Desde finales del siglo pasado, por medio de procesos de reforma curricular (Yore & Treagust, 2006) y de la evaluación internacional de las destrezas científicas de los estudiantes (OCDE, 2001), se reclama un cambio metodológico en las aulas escolares orientado hacia el desarrollo de “competencias”. Además, en el contexto nacional e internacional, se detecta una preocupación sobre el interés decreciente del alumnado hacia las asignaturas de ciencias –que tiene su continuidad en la elección de estudios universitarios– (OCDE, 2006). Este hecho se atribuye a un efecto combinado de la comprensión sobre estas materias, las emociones que despiertan y la autoeficacia percibida por los estudiantes (Wang & Degol, 2017). Por ello, se demanda que el objetivo básico de la enseñanza de las ciencias en los niveles escolares sea el de facilitar la *alfabetización científica* (Banet, 2010), implicando a los estudiantes en las actividades características de la ciencia –*indagación* o prácticas epistémicas– (Kelly, McDonald & Wickman, 2012) y dotándoles de autonomía para desarrollar pequeñas investigaciones que incluyan la formulación de hipótesis, el control de las variables, el uso de modelos, la argumentación, etc. (Windschitl, Thompson & Braaten, 2008).

La posibilidad de llevar a cabo este cambio metodológico atañe directamente al profesorado, como “agente principal” para la renovación educativa (Rocard et al, 2007), y un ámbito obvio para contribuir a esta causa es el de la formación inicial de profesores de Educación Secundaria. En este sentido, los estudios realizados sugieren articular los programas formativos sobre el Conocimiento Didáctico del Contenido –CDC–, elemento que permite transformar el conocimiento disciplinar en “conocimiento para la enseñanza” y, por tanto, caracteriza el trabajo docente (Shulman, 1986; Acevedo, 2009). La construcción del CDC –específico para cada temática escolar– requiere una integración práctica de los conocimientos y creencias sobre las estrategias de enseñanza, la comprensión de la ciencia de los estudiantes, el currículo, la evaluación del aprendizaje, los fines percibidos para la enseñanza de las ciencias y la autoeficacia del docente (Magnusson, Krajcik & Borko, 1999; Park & Oliver, 2008). Por ello, en esta investigación se asume que para contribuir a este objetivo, las propuestas formativas deben:

- Seguir estrategias metodológicas análogas a las propugnadas para la Educación Secundaria –“principio de isomorfismo”–, como la resolución de *problemas profesionales* que promuevan la reflexión de los futuros profesores sobre la práctica docente (Porlán et al., 2010).
- Ofrecer la *vivencia* de experiencias de aprendizaje escolar de corte constructivista, para que los participantes reflexionen sobre las características de un modelo de enseñanza-aprendizaje alternativo al que están pueden estar acostumbrados (Pillitsis & Duncan, 2012).

- Proporcionar un *marco reflexivo*, como el diseño de Unidades Didácticas o las Representaciones del Contenido, que permita explicitar el CDC del futuro profesorado y utilizarlo en su beneficio (Loughran, Mulhall & Berry, 2004; Martínez-Aznar, Varela, Ezquerro & Sotres, 2013).

Esta investigación analiza una propuesta que pretende contribuir a la construcción de CDC por parte de futuros profesores de física y química. De forma más específica, se centra en su aprendizaje sobre la *indagación*, como estrategia metodológica que promueve el cambio conceptual del alumnado y favorece el desarrollo de actitudes favorables hacia la ciencia (Minner, Levy & Century, 2010; Lazonder & Harmsen, 2016). Así, entre las distintas variantes de la indagación (Prince & Felder, 2006), se considera la *Metodología de Resolución de Problemas como Investigación* –MRPI– de Gil-Pérez & Martínez-Torregrosa (1983), un método que en distintos contextos educativos ha obtenido buenos resultados en relación al aprendizaje conceptual y procedimental (Martínez-Aznar & Varela, 2009; Pavón & Martínez-Aznar, 2014), a su persistencia temporal (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005) y a la promoción de actitudes positivas en torno a la ciencia (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2007). La MRPI es un heurístico que parte de las ideas previas de los alumnos y se desarrolla en grupos cooperativos de estudiantes. Para orientar la resolución de los problemas, propone un ciclo de cinco fases –asociadas a dimensiones de la *competencia científica*– que deben entenderse de forma flexible: DC1. Análisis cualitativo del problema; DC2. Emisión de hipótesis; DC3. Diseño de estrategias de resolución; DC4. Resolución del problema; DC5. Análisis de resultados (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005). Además, en todo este proceso la verbalización de los procesos de aprendizaje resulta fundamental, para favorecer el desarrollo de destrezas metacognitivas por parte del alumnado (Schraw, Crippen & Hartley, 2006).

2. Finalidad y objetivos

Este estudio de tesis, con formato de *compendio de artículos*, presenta una doble finalidad de innovación e investigación. Por una parte, presenta una propuesta fundamentada para las asignaturas de Didáctica de la Química y de la Física del Máster en Formación del Profesorado de Secundaria (MFPS), materias que se articulan en torno a problemas profesionales –selección de contenidos, diseño y uso de actividades de enseñanza, evaluación del aprendizaje, etc.– cuya resolución debe plasmarse en Unidades Didácticas elaboradas por los participantes.

De forma más específica, la memoria se centra en la resolución del problema sobre las actividades escolares, desde la asignatura de Didáctica de la Química. Se considera que los futuros profesores “deben asumir el rol de los escolares” y tomar parte en una secuencia indagativa (MRPI) de situaciones problemáticas sobre los cambios físicos y químicos, para promover su reflexión sobre las características y beneficios de este tipo de enseñanza-aprendizaje y, en definitiva, la construcción de CDC.

Con estos componentes, se pretende justificar hasta qué punto el programa formativo se muestra eficaz para favorecer la asunción, por parte de los futuros profesores, de creencias profesionales de tipo constructivista –alineadas con la propuesta–. Además, se busca conocer la percepción final de los participantes sobre la aplicabilidad de la MRPI en Educación Secundaria, así como ejemplificar una continuidad de la propuesta en el Practicum del MFPS.

Esta finalidad se concreta en las siguientes preguntas de investigación y objetivos, a los que se da respuesta en los artículos de la tesis y en su discusión global:

- **Primera pregunta de investigación:** «¿Cuál es el efecto de una propuesta formativa para las asignaturas de didácticas específicas en un grupo de futuros profesores de física y química?»

La pregunta se concreta en los siguientes *tres objetivos*:

- **Objetivo 1:** Justificar los componentes del programa formativo de didácticas específicas orientado a favorecer la construcción de Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC).
 - **Objetivo 2:** Comprobar la eficacia de la propuesta formativa en términos de evolución en las creencias profesionales de los futuros docentes.
 - **Objetivo 3:** Caracterizar la visión final de los futuros profesores sobre el problema profesional: «¿Cómo se pueden diseñar actividades de enseñanza-aprendizaje para una Unidad Didáctica?»
- **Segunda pregunta de investigación:** «¿Cómo es el desarrollo de la competencia científica y el aprendizaje sobre las características de la Metodología de Resolución de Problemas como Investigación (MRPI) por parte de los futuros profesores, a raíz de resolver problemas abiertos escolares en la asignatura de Didáctica de la Química?»

La pregunta se concreta en los siguientes *tres objetivos*:

- **Objetivo 4:** Analizar el nivel de competencia de los futuros profesores en la resolución de los problemas sobre cambios físicos y químicos.
- **Objetivo 5:** Identificar la visión asumida por los futuros profesores sobre la implementación de la MRPI en Educación Secundaria.
- **Objetivo 6:** Ejemplificar la transferencia de la MRPI a Educación Secundaria durante las prácticas docentes.

3. Diseño de la investigación

Para abordar los objetivos de la investigación, se utilizan los instrumentos y técnicas de análisis, cualitativas y cuantitativas, mostradas en la Tabla 1. Estos datos se recaban a lo largo de dos promociones del Máster (ver tabla) y, además, el último de los objetivos conlleva la participación de escolares de 4º de ESO durante el módulo del Practicum.

Tabla 1. Relación entre objetivos, comprobaciones a realizar, muestras, instrumentos utilizados y análisis realizados

Objetivo	Comprobación	Instrumentos	Técnicas de análisis	
1	<i>Justificar los componentes del programa formativo, orientado a favorecer la construcción de CDC</i>			
	Determinación de las creencias iniciales y finales	→	<ul style="list-style-type: none"> Estadística descriptiva: porcentajes de respuesta, medias y desviaciones típicas 	✓
2	Evolución en las creencias	Cuestionario de «Pensamiento Curricular y Profesional»	<ul style="list-style-type: none"> Estadística inferencial, no paramétrica: prueba de los rangos con signo de Wilcoxon (Z) y tamaño del efecto (r) 	
	“Modelización” de las creencias (agrupación de ítems)	→	<ul style="list-style-type: none"> Escalamiento multidimensional (algoritmo ALSCAL, SPSS v.24) y análisis de clúster (método de Ward) 	
3	Visión final sobre el problema profesional acerca de las actividades escolares	Entrevistas semiestructuradas	<ul style="list-style-type: none"> Análisis del contenido con ATLAS.ti 	✓
4	Competencia científica de los futuros profesores (MRPI)	Informes de resolución sobre los problemas abiertos	<ul style="list-style-type: none"> Análisis descriptivo: asignación de niveles a las dimensiones competenciales y cálculo de indicadores de logro Análisis de contenido: elaboración de mapas conceptuales y esquemas 	✓
5	Visión asumida sobre la aplicabilidad de la MRPI en Educación Secundaria	Cuestionario de «Visión sobre la Aplicabilidad de la MRPI»	<ul style="list-style-type: none"> Estadística descriptiva: medias, desviaciones típicas y medianas Estadística inferencial: prueba de la U de Mann-Whitney según creencias, titulaciones y logros en resolución de problemas 	✓
		Entrevistas semiestructuradas	<ul style="list-style-type: none"> Análisis del contenido con ATLAS.ti 	
6	Competencia científica de los alumnos de 4º de ESO	Informes de resolución sobre los problemas abiertos	<ul style="list-style-type: none"> Análisis descriptivo: asignación de niveles a las dimensiones competenciales y cálculo de indicadores de logro 	★
✓	Muestra: grupos-clase de las promociones 2014/15 (27 estudiantes) y 2015/16 (25 estudiantes) del Máster en Formación del Profesorado de Secundaria de la UCM.			
✓	Muestra: promoción 2015/16 del Máster. En los cuestionarios e informes sobre los problemas abiertos, participa todo el grupo-clase. Para las entrevistas, se seleccionan 2 estudiantes asignados al modelo tradicional y otros 2 vinculados al modelo constructivista.			
★	Muestra: 19 escolares de 4º de ESO (asignatura de Ampliación de Física y Química) del IES Cardenal Cisneros de Madrid. El estudio corresponde a la etapa del Practicum del autor de la tesis, tras haber cursado una propuesta sobre la MRPI análoga a la de la investigación.			

4. Resultados y conclusiones

En primer lugar, se presenta una síntesis de los *resultados* obtenidos, en relación con los seis objetivos del estudio:

Primer objetivo: La propuesta para las asignaturas de Didáctica de la Química y de la Física resulta coherente con los elementos consensuados para la construcción de CDC en la formación inicial del profesorado, porque: *i)* se articula a través de la *resolución de problemas profesionales* acordes a los componentes del CDC, *ii)* se sigue un enfoque *reflexivo* donde los participantes asumen una perspectiva doble (papel de estudiantes de Secundaria y papel de futuros profesores) y *iii)* se considera fundamental la *observación* del rol de los formadores al implementar actividades escolares innovadoras.

Segundo objetivo: Se apoya la *validez* de la propuesta formativa para promover un cambio en las creencias de los futuros profesores hacia visiones de tipo constructivista. Esta evolución resulta especialmente relevante en la dimensión de «metodología», donde se perciben transiciones desde la defensa hacia la crítica sobre aspectos como la explicación verbal de los contenidos y el uso de materiales muy pautados. Además, los resultados permiten constatar algunos *obstáculos* para el cambio en las creencias, aspectos que sustentarán las posibles mejoras a introducir en el programa formativo.

Tercer objetivo: Las reflexiones de los futuros profesores manifiestan una visión muy diferente sobre las metas principales de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias según sea su *modelo didáctico*. Esto a su vez se traduce en la elección de unos u otros tipos de actividades escolares, y en una percepción más o menos favorable sobre la indagación.

Cuarto objetivo: Se comprueba la pertinencia de la resolución de problemas abiertos escolares con la MRPI desde la asignatura de Didáctica de la Química. Esta propuesta favorece la mejora en los niveles de *competencia científica* de los futuros profesores, y promueve su reflexión sobre conceptos implicados en problemas de química escolar, su representación y su utilidad práctica. Estos aspectos son coherentes con la finalidad de promover la construcción de CDC desde las asignaturas.

Quinto objetivo: El trabajo con la MRPI en la asignatura de Didáctica de la Química origina que los participantes asuman *fortalezas* y *debilidades* sobre su posible aplicación en la Educación Secundaria; entre las primeras, su contribución al desarrollo de destrezas científicas de trabajo, y entre las segundas, la excesiva dificultad que conllevaría para el alumnado de Secundaria. Esta percepción está condicionada en términos estadísticos por las *creencias profesionales* mantenidas. Así, la MRPI parece adecuarse bien a las características sobre el aprendizaje asumidas por los futuros profesores próximos al modelo constructivista y, a su vez, parece difícil que los estudiantes con creencias «tradicionales» más arraigadas se inclinen a utilizar la indagación en su futura práctica.

Sexto objetivo: El Practicum supone una oportunidad excelente para reforzar los presupuestos metodológicos defendidos desde las asignaturas de didáctica, terminar de vincular los problemas profesionales con la labor de aula, implementar estrategias de enseñanza-aprendizaje innovadoras, como la MRPI, y reflexionar sobre la respuesta de los escolares a estas actividades.

Para dar respuesta a las dos preguntas de investigación, se extraen las siguientes conclusiones:

1. La validez de la propuesta formativa, basada en la construcción de CDC parece constatada. A través de un enfoque basado en la observación y la reflexión, articulado a través de problemas profesionales, se favorece que los futuros profesores vayan evolucionando hacia modelos didácticos constructivistas, fundamentalmente a través de cambios en sus creencias metodológicas (promoviendo actividades abiertas, menos dirigidas, de naturaleza más indagativa, etc.). Sin embargo, como cabría esperar, este cambio conceptual mantiene una serie de creencias –en forma de amalgama– estables y resistentes al cambio.
2. A través de la resolución de problemas abiertos escolares, los futuros profesores progresan en su desarrollo de la competencia científica –en aspectos como la representación cualitativa de situaciones problemáticas de química–. A su vez, la reflexión vinculada a este aprendizaje propicia la asunción de fortalezas (p.ej., el desarrollo de destrezas científicas) y debilidades (p.ej., la dificultad) sobre la indagación y sobre la MRPI, que se encuentran fuertemente condicionadas por sus creencias profesionales, siendo más positivas en el caso de los estudiantes próximos al constructivismo. En todo caso, conviene que el aprendizaje desarrollado tenga su continuidad en el Practicum, para comprobar el efecto “real” de la indagación y su acogida por parte de los escolares.

5. Referencias

- Acevedo, J.A. (2009). Conocimiento Didáctico del Contenido para la enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia (I): el marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 21–46.
- Banet, E. (2010). Finalidades de la educación científica en Educación Secundaria: Aportaciones de la investigación educativa y opinión de los profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 199–214.
- Gil-Pérez, D. & Martínez-Torregrosa, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4), 447–455.
- Ibáñez, T. & Martínez-Aznar, M.M. (2005). Solving Problems in Genetics II: Conceptual restructuring. *International Journal of Science Education*, 27(12), 1495–1519.

- Ibáñez, T. & Martínez-Aznar, M.M. (2007). Solving Problems in Genetics, Part III: Change in the view of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 29(6), 747–769.
- Kelly, G.J., McDonald, S. & Wickman, P-O. (2012). Science Learning and Epistemology. En B.J. Fraser, K.G. Tobin & C.J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 281–291). Dordrecht: Springer.
- Lazonder, A.W. & Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning: Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, 86(3), 681–718.
- Loughran, J., Mulhall, P. & Berry, A. (2004). In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370–391.
- Magnusson, S., Krajcik, J. & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of Pedagogical Content Knowledge for science teaching. En J. Gess-Newsome & N.G. Lederman (Eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge* (pp. 95–132). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Martínez-Aznar, M.M. & Ibáñez, T. (2005). Solving problems in genetics. *International Journal of Science Education*, 27(1), 101–121.
- Martínez-Aznar, M.M. & Varela, P. (2009). La resolución de problemas de energía en la formación inicial de maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(3), 343–360.
- Martínez-Aznar, M.M., Varela, P., Ezquerro, A. & Sotres, F. (2013). Las Unidades Didácticas escolares, basadas en competencias, como eje estructurante de la Didáctica de la Física y Didáctica de la Química para la formación inicial de profesores de secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 616–629.
- Minner, D.D., Levy, A.J. & Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction — What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474–496.
- OECD (2001). *Conocimientos y destrezas para la vida. Primeros resultados del proyecto PISA 2000*. Madrid: MECD. Recuperado de: <http://www.mecd.gob.es/dctm/evaluacion/internacional/pisa2000-int.pdf?documentId=0901e72b80110720>
- OECD (2006). *Evolution of Student Interest in Science and Technology Studies*. Recuperado de: <http://www.oecd.org/science/sci-tech/36645825.pdf>
- Park, S. & Oliver, J.S. (2008). Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education*, 38(3), 261–284.
- Pavón, F. & Martínez-Aznar, M.M. (2014). La metodología de resolución de problemas como investigación (MRPI): una propuesta indagativa para desarrollar la competencia científica en alumnos que cursan un programa de diversificación. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 469–492.
- Pilitsis, V. & Duncan, R.G. (2012). Changes in Belief Orientations of Preservice Teachers and Their Relation to Inquiry Activities. *Journal of Science Teacher Education*, 23(8), 909–936.
- Prince, M.J. & Felder, R.M. (2006). Inductive Teaching and Learning Methods: Definitions, Comparisons, and Research Bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123–138.

- Porlán, R., Martín del Pozo, R., Rivero, A., Harres, J., Azcárate, P. & Pizzato, M. (2010). El cambio del profesorado de ciencias I: marco teórico y formativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 31–46.
- Rocard, M., Csermely, P., Jarde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. & Hemmo, V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Brussels. Recuperado de:
http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf
- Schraw, G., Crippen, K.J. & Hartley, K. (2006). Promoting Self-Regulation in Science Education: Metacognition as Part of a Broader Perspective on Learning. *Research in Science Education*, 36(1), 111–139.
- Shulman, L.S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Yore, L.D. & Treagust, D.F. (2006). Current Realities and Future Possibilities: Language and scientific literacy–empowering research and informing instruction. *International Journal of Science Education*, 28(2–3), 291–314.
- Wang, M-T. & Degol, J-L. (2006). Gender Gap in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM): Current Knowledge, Implications for Practice, Policy, and Future Directions. *Educational Psychology Review*, 29(1), 119–140.
- Windschitl, M., Thompson, J. & Braaten, M. (2008). Beyond the Scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967.

SUMMARY

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE EDUCACIÓN

CENTRO DE FORMACIÓN DEL PROFESORADO

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales



PhD THESIS

**Initial teacher training proposal for Chemistry Education:
inquiry-based activities for Secondary Education as a
professional problem**

REPORT AIMED FOR OBTAINING THE PhD DEGREE

Presented by

Iñigo Rodríguez Arteche

and supervised by

María Mercedes Martínez Aznar

Madrid, 2017

SUMMARY OF THE THESIS

1. Theoretical Framework

From the end of the last century, educational organizations have been asking for a methodological change at school, from a work about “contents” towards the development of “competencies”. These demands have come with some processes of curricular reform (Yore & Treagust, 2006) and the start of an international assessment of students’ scientific competencies (OECD, 2001). In addition, both in a national and international context, there is a concern about the decreasing interest of students towards scientific subjects –which affects the choice of university studies– (OECD, 2006). This fact is attributed to a combined effect of the understanding of these subjects, the emotions they cause and the students’ self-efficacy (Wang & Degol, 2017). Therefore, promoting the students’ *scientific literacy* (Banet, 2010), involving them in characteristic epistemic practices (Kelly, McDonald & Wickman, 2012) and giving them autonomy to carry out small investigations –*inquiry*, which includes formulation of hypotheses, control of variables, use of models, argumentation... (Windschitl, Thompson & Braaten, 2008)–, all these can be considered as internationally accepted goals for science education.

Carrying out this methodological change directly involves teachers as the “main agents” for educational change (Rocard et al, 2007). Therefore, an obvious area to contribute to this cause is the initial secondary education teacher training. A variety of studies suggest articulating the training programs on Pedagogical Content Knowledge (PCK), an element that allows to transform the disciplinary knowledge into “knowledge for teaching” and therefore, characterizes the work of a teacher (Shulman, 1986, Acevedo, 2009). The construction of PCK –specific for each school topic– requires a practical integration of knowledge and beliefs about teaching strategies, students’ understanding of science, curriculum, learning assessment, purposes for teaching science and teacher self-efficacy (Magnusson, Krajcik & Borko, 1999; Park & Oliver, 2008). Therefore, this PhD thesis assumes that in order to contribute to this goal, the training proposals should:

- Follow methodological strategies analogous to those advocated for Secondary Education (“principle of isomorphism”), such as the resolution of professional problems that promote the participants’ reflection on teaching practice (Porlán et al., 2010).
- Provide opportunities to personally experience school learning activities aligned with constructivism, so that future teachers reflect on the characteristics of a teaching-learning model that might be “different” from the one they are accustomed to (Pilitsis & Duncan, 2012).
- Supply a reflective framework, such as the design of Teaching Units or Content Representations, to make the future teachers’ CDC explicit. In that way, they could

use it for their benefit (Loughran, Mulhall & Berry, 2004; Martínez-Aznar, Varela, Ezquerro & Sotres, 2013).

This research analyzes a proposal that aims to contribute to the PCK construction by future physics and chemistry teachers. More specifically, it focuses on learning about inquiry as a methodological strategy that promotes students' conceptual change and favors the development of positive attitudes towards science (Minner, Levy & Century, 2010; Lazonder & Harmsen, 2016). Among the different variants of *inquiry* (Prince & Felder, 2006), our program assumes the Methodology of Problem-Solving as an Investigation –MPSI– (Gil-Pérez & Martínez-Torregrosa, 1983). This method has proven its effectiveness in different contexts (Martínez-Aznar & Varela, 2009; Pavón & Martínez-Aznar, 2014), regarding persistence of learning (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2005) and promotion of positive attitudes towards science (Ibáñez & Martínez-Aznar, 2007). The MPSI is a heuristic that starts from the students' previous ideas and is developed in cooperative groups of learners. In order to guide the problem-solving processes, the MPSI proposes a cycle of five phases –associated with the dimensions of scientific competence– which should be understood flexibly: CD1. Qualitative analysis of the problem; CD2. Formulation of hypotheses; CD3. Design of resolution strategies; CD4. Resolution of the problem; CD5. Analysis of results (Martínez-Aznar & Ibáñez, 2005). In addition to this, the verbalization of learning processes is fundamental to foster the students' development of metacognitive skills (Schraw, Crippen & Hartley, 2006).

2. Purpose and objectives

This PhD thesis –structured as a compendium of publications– is associated with a double aim of innovation and research. First, it presents a grounded proposal for Physics and Chemistry Education subjects of the Spanish Master's in Secondary Education (MSE). These subjects are organized around professional problems –about content selection, use and design of teaching activities, learning assessment, etc.– whose resolution must be reflected in Teaching Units designed by the future teachers.

More specifically, this investigation focuses on the resolution of the problem about school activities, in the Chemistry Education subject. It is considered that future teachers “should assume the role of secondary school students” and take part in an inquiry-based sequence (MPSI) of open-ended problems about physical and chemical changes. As such, we expect to promote their reflection on the features and benefits of this teaching and learning model and, after all, support their construction of PCK.

With these components, the intention of this study is to justify the extent to which the training program is effective, in terms of favoring the future teachers' assumption of constructivist professional beliefs. In addition, we expect to know the participants' final perception about the applicability of the MRPI in Secondary Education, as well as to give an example about the continuity of the proposal in the Practicum of the Master's program.

This purpose is reflected in the following research questions and objectives, which are answered in the articles of the thesis and in its global discussion:

- **First research question:** «What is the effect of a learning proposal for Physics and Chemistry Education subjects in a group of future teachers?»

There are *three objectives* associated with this question:

- **Objective 1:** To justify the components of the learning program aimed at favoring the construction of Pedagogical Content Knowledge (PCK).
 - **Objective 2:** To check the effectiveness of the training proposal in terms of evolution in the professional beliefs of future teachers.
 - **Objective 3:** To characterize the future teachers' final view on the professional problem: «How can teaching and learning activities be designed for a Teaching Unit?»
- **Second research question:** «How is the future teachers' learning about the Methodology of Problem-Solving as an Investigation (MPSI), as a result of solving open-ended problems in the Chemistry Education subject?»

This research question is reflected in the following objectives:

- **Objective 4:** To analyze the future teachers' level of competence in solving problems regarding physical and chemical changes.
- **Objective 5:** To identify the future teachers' view on the possible implementation of the MPSI in Secondary Education.
- **Objective 6:** To exemplify the transfer of the MPSI to Secondary Education during the practical teaching phase of the Master's program.

3. Research design

In order to address the research objectives, qualitative and quantitative analysis tools and techniques are used, shown in Table 1. These data were collected along two Master's promotions (see table) and, in addition, the last of the objectives involves the participation of students at age 16 (4° ESO) during the Máster's module of Practicum.

Table 1. Relationship between objectives, aspects to be studied, samples, instruments to collect data and analysis carried out

Objective	Aspect to check	Data collection	Analysis techniques	
1	<i>Justify the components of the training program, with the goal of promoting the PCK construction</i>			
	Determination of initial and final beliefs	→	<ul style="list-style-type: none"> Descriptive statistics: response rates, means and standard deviations 	✓
2	Evolution in beliefs	Questionnaire on «Curricular and Professional Thinking»	<ul style="list-style-type: none"> Inferential, non parametric statistics: Wilcoxon signed-rank test (Z) and effect size (r) 	
	“Modeling” of beliefs (grouping of items)	→	<ul style="list-style-type: none"> Multidimensional scaling (ALSCAL algorithm, SPSS v.24) and cluster analysis (Ward’s method) 	
3	Final view about the professional problem regarding the school activities	Semi-structured interviews	<ul style="list-style-type: none"> Content analysis with ATLAS.ti 	✓
4	Future teachers’ scientific competence (MPSI)	Reports with the solutions to the open-ended problems	<ul style="list-style-type: none"> Descriptive analysis: assign levels to the competence dimensions and calculate achievement indicators Content analysis: develop concept maps and diagrams 	✓
5	Assumptions about the applicability of the MPSI in Secondary Education	Questionnaire on «View about the Applicability of the MPSI»	<ul style="list-style-type: none"> Descriptive statistics: means, standard deviations and medians Inferential statistics: Mann-Whitney U test according to beliefs, previous university degrees and achievement in problem solving 	✓
		Semi-structured interviews	<ul style="list-style-type: none"> Content analysis with ATLAS.ti 	
6	Secondary school students’ (4° ESO) scientific competence	Reports with the solutions to the open-ended problems	<ul style="list-style-type: none"> Descriptive analysis: assign levels to the competence dimensions and calculate achievement indicators 	★
✓	Sample: class-groups corresponding to the 2014/15 (27 students) and 2015/16 (25 students) promotions of the Master's in Secondary Education at UCM.			
✓	Sample: 2015/16 promotion of the Master’s. The whole group participates in the questionnaires and reports about the open-ended problems. For the interviews, 2 students assigned to the traditional model and another 2 linked to the constructivist model are selected.			
★	Sample: 19 students, aged 16 (4° ESO), from the “Physics and Chemistry extension” subject –IES Cardenal Cisneros, Madrid–. In this study, the author of the thesis is carrying out his Practicum, after having completed a learning proposal on the MPS analogous to that of the research.			

4. Results and conclusions

First, a synthesis of the results obtained is presented, in relation to the six objectives of the study:

First objective: The proposal for the Chemistry and Physics Education subjects is consistent with the internationally assumed features to promote PCK construction during initial teacher training, because: *i)* it is articulated through the resolution of *professional problems* according to the PCK components; *ii)* a *reflective* approach is followed where participants assume a dual perspective (a role of secondary school students and a role of future teachers); and *iii)* *observation* of the trainers' role in implementing innovative school activities is considered as essential.

Second objective: The *validity* of the learning proposal to promote a change in the future teachers' beliefs towards constructivist visions is supported. This evolution is particularly relevant in the dimension of «methodology», where transitions are perceived from defense to criticism on aspects such as the verbal explanation of contents and the use of highly structured materials. In addition, the results allow us to note some *obstacles* to the change in beliefs, aspects that will sustain the possible improvements to be introduced in the training program.

Third objective: The future teachers' reflections show a very different view of the main goals for teaching and learning science according to their *didactic model*. This in turn results in the choice of one or other type of school activities, and a more or less favorable perception about inquiry.

Fourth objective: The relevance of the resolution of school open-ended problems with the MPSI, in the Chemistry Education subject, is verified. This proposal favors improvement in the future teachers' levels of *scientific competence*, and promotes their reflection on a variety of concepts involved in problems of school chemistry, their representation and their practical utility. These aspects are consistent with the purpose of promoting the PCK construction through the Master's subjects.

Fifth objective: The work with the MPSI in the Chemistry Education subject causes the participants to assume *strengths* and *weaknesses* about its possible application in Secondary Education; among the former, its contribution to the development of scientific work skills, and among the latter, the excessive difficulty that it would entail for secondary school students. This perception is statistically conditioned by the *professional beliefs* maintained. Thus, the MPSI seems to fit well with the characteristics about learning assumed by future teachers close to the constructivist model and, in turn, it seems difficult for students with more "entrenched" traditional beliefs to be encouraged to use inquiry in their future practice.

Sixth objective: The Practicum modulus of the Master's is an excellent opportunity to reinforce the ideas about teaching and learning defended in the previous subjects of didactics, to finish linking the professional problems with classroom practice, to implement

innovative teaching-learning strategies, such as the MPSI, and to reflect on the response of secondary school students to these activities.

In order to answer the two research questions, the following *conclusions* are drawn:

1. The validity of the training proposal, based on the PCK construction, seems to be verified. Through an approach based on observation and reflection, articulated by means of professional problems, it is favored that future teachers evolve towards constructivist didactic models, fundamentally through changes in their methodological beliefs (promoting open-ended activities, less directed, of more indagative nature, etc.). However, as might be expected, this conceptual change maintains a series of beliefs –in the form of a cluster– stable and resistant to change.
2. Through the resolution of school open-ended problems, future teachers progress in their development of scientific competence –in aspects such as the qualitative representation of problematic situations of chemistry–. In turn, the reflection linked to this learning leads to the assumption of strengths (e.g., the development of scientific skills) and weaknesses (e.g., difficulty) about inquiry-based methods and the MPSI. These views are strongly conditioned by their professional beliefs, being more positive in the case of students close to constructivism. In any case, it is convenient that the learning developed has its continuity in the Practicum, to verify the “real” effect of inquiry and the students’ attitude while solving open-ended problems.

5. References

- Acevedo, J.A. (2009). Conocimiento Didáctico del Contenido para la enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia (I): el marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(1), 21–46.
- Banet, E. (2010). Finalidades de la educación científica en Educación Secundaria: Aportaciones de la investigación educativa y opinión de los profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 199–214.
- Gil-Pérez, D. & Martínez-Torregrosa, J. (1983). A model for problem-solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4), 447–455.
- Ibáñez, T. & Martínez-Aznar, M.M. (2005). Solving Problems in Genetics II: Conceptual restructuring. *International Journal of Science Education*, 27(12), 1495–1519.
- Ibáñez, T. & Martínez-Aznar, M.M. (2007). Solving Problems in Genetics, Part III: Change in the view of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 29(6), 747–769.
- Kelly, G.J., McDonald, S. & Wickman, P-O. (2012). Science Learning and Epistemology. In B.J. Fraser, K.G. Tobin & C.J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 281–291). Dordrecht: Springer.

- Lazonder, A.W. & Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning: Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, 86(3), 681–718.
- Loughran, J., Mulhall, P. & Berry, A. (2004). In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370–391.
- Magnusson, S., Krajcik, J. & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of Pedagogical Content Knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome & N.G. Lederman (Eds.), *Examining Pedagogical Content Knowledge* (pp. 95–132). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Martínez-Aznar, M.M. & Ibáñez, T. (2005). Solving problems in genetics. *International Journal of Science Education*, 27(1), 101–121.
- Martínez-Aznar, M.M. & Varela, P. (2009). La resolución de problemas de energía en la formación inicial de maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(3), 343–360.
- Martínez-Aznar, M.M., Varela, P., Ezquerro, A. & Sotres, F. (2013). Las Unidades Didácticas escolares, basadas en competencias, como eje estructurante de la Didáctica de la Física y Didáctica de la Química para la formación inicial de profesores de secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, 616–629.
- Minner, D.D., Levy, A.J. & Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction — What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474–496.
- OECD (2001). *Conocimientos y destrezas para la vida. Primeros resultados del proyecto PISA 2000*. Madrid: MECD. Retrieved from: <http://www.mecd.gob.es/dctm/ievaluacion/internacional/pisa2000-int.pdf?documentId=0901e72b80110720>
- OECD (2006). *Evolution of Student Interest in Science and Technology Studies*. Retrieved from: <http://www.oecd.org/science/sci-tech/36645825.pdf>
- Park, S. & Oliver, J.S. (2008). Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. *Research in Science Education*, 38(3), 261–284.
- Pavón, F. & Martínez-Aznar, M.M. (2014). La metodología de resolución de problemas como investigación (MRPI): una propuesta indagativa para desarrollar la competencia científica en alumnos que cursan un programa de diversificación. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 469–492.
- Pilitsis, V. & Duncan, R.G. (2012). Changes in Belief Orientations of Preservice Teachers and Their Relation to Inquiry Activities. *Journal of Science Teacher Education*, 23(8), 909–936.
- Prince, M.J. & Felder, R.M. (2006). Inductive Teaching and Learning Methods: Definitions, Comparisons, and Research Bases. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 123–138.
- Porlán, R., Martín del Pozo, R., Rivero, A., Harres, J., Azcárate, P. & Pizzato, M. (2010). El cambio del profesorado de ciencias I: marco teórico y formativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 31–46.
- Rocard, M., Csermely, P., Jarde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. & Hemmo, V. (2007). *Science Education Now: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Brussels. Retrieved from: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf

- Schraw, G., Crippen, K.J. & Hartley, K. (2006). Promoting Self-Regulation in Science Education: Metacognition as Part of a Broader Perspective on Learning. *Research in Science Education*, 36(1), 111–139.
- Shulman, L.S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4–14.
- Yore, L.D. & Treagust, D.F. (2006). Current Realities and Future Possibilities: Language and scientific literacy—empowering research and informing instruction. *International Journal of Science Education*, 28(2–3), 291–314.
- Wang, M-T. & Degol, J-L. (2006). Gender Gap in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM): Current Knowledge, Implications for Practice, Policy, and Future Directions. *Educational Psychology Review*, 29(1), 119–140.
- Windschitl, M., Thompson, J. & Braaten, M. (2008). Beyond the Scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations. *Science Education*, 92(5), 941–967.

